



**LOW  
COST**

**books**



# Manuel d'utilisation du programme de calcul CECIIL (Calcul Et Conception d'Infrastructures d'Irrigation Localisée)

**Cécile Vabre  
Sergio Chiva Vicent  
Leonor Hernández López  
José Enrique Juliá Bolívar**





Manuel d'utilisation du  
programme de calcul CECIIL  
(**Calcul Et Conception**  
**d'Infrastructures d'Irrigation**  
**Localisée**)



Manuel d'utilisation du programme de  
calcul **CECIIL**  
(**Calcul Et Conception d'Infrastructures**  
**d'Irrigation Localisée**)

**Cécile Vabre**

**Sergio Chiva Vicent**

**Leonor Hernández López**

**José Enrique Juliá Bolívar**



VALENCIA 2012

Ce manuel et le programme CECIL associé ont été développés à la Universitat Jaume I de Castellón, (Espagne) par le département : « Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Área de Mecánica de Fluidos » en collaboration avec l'organisation humanitaire internationale Action Contre la Faim (Espagne).

**Information de contact :**

Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción  
Universitat Jaume I  
Campus del Riu Sec  
E-12080 Castellón de la Plana  
España (Spain)

Pour toute information complémentaire:

Cécile Vabre :	vabrececile@gmail.com
Sergio Chiva Vicent:	schiva@emc.uji.es
Leonor Hernández López:	lhernand@emc.uji.es
José Enrique Juliá Bolívar:	bolivar@emc.uji.es
Pablo Alcalde Castro:	palcalde@achesp.org

Novembre 2012

© del texto: los autores

© de esta edición: PSYLICOM Distribuciones editoriales

C/ San Juan de la Cruz, 9  
46009 – Valencia. ESPAÑA.  
www.psyli.com

www.lowcostbooks.es

Imprime: By Print

ISBN: 978-84-940663-6-8

DEPÓSITO LEGAL: V – 3446 - 2012

IMPRESO EN ESPAÑA – *PRINTED IN SPAIN*

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, sin la autorización escrita de los titulares del *Copyright*, bajo las sanciones establecidas por las leyes.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro español de Derechos Reprográficos, [www.cedro.org](http://www.cedro.org)) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

## Table des matières

1.	Présentation du programme .....	11
1.1.	Objectifs du programme .....	11
1.2.	Fonctionnement .....	11
2.	Définition des sous- unités .....	13
2.1.	Introduction.....	13
2.1.1.	Exemple détaillé : N'Diokouti .....	14
3.	Dimensionnement des sous- unités .....	15
3.1.	Processus de calcul.....	15
3.2.	Feuille de calcul 1. CULTURE .....	17
3.2.1.	Explication du processus de calcul .....	17
3.2.2.	Entrée des données dans la feuille de calcul.....	22
3.2.3.	Exemple détaillé : N'Diokouti .....	25
3.3.	Feuilles 2. SOUS UNITÉS et 3. SOUS UNITÉS 2.....	28
3.3.1.	Explication du fonctionnement des sous unités .....	28
3.3.2.	Entrée des données dans la feuille de calcul.....	32
3.3.3.	Exemple détaillé : N'Diokouti .....	41
3.4.	Feuille 4. GRAPHIQUES.....	45
3.4.1.	Exemple détaillé : N'Diokouti .....	45
4.	Réseau d'arrosage .....	47
4.1.1.	Explication du processus de calcul .....	47
4.2.	Feuille 5. RESEAU CONFIGURE .....	47
4.2.1.	Entrée des données pour le dimensionnement.....	48
4.2.2.	Exemple détaillé : N'Diokouti .....	51
4.3.	Feuille 6. POMPE .....	54
4.3.1.	Entrée des données.....	55
4.3.2.	Exemple détaillé : N'Diokouti .....	57
4.4.	Feuille 7. EPANET.....	58
4.4.1.	Utilisation de EPANET.....	58
4.4.2.	Entrée des données dans la feuille de calcul.....	59
4.4.3.	Exemple détaillé : N'Diokouti .....	59
5.	Information complémentaire.....	63
5.1.	Conversion des différentes unités:.....	63

5.2. Texture du sol :.....	63
5.3. Cadres avec données de la FAO .....	64
6. Bibliographie.....	67

### **Table de contenus**

#### ***Cadres:***

Cadre 2-1: Dimensions des sous unités.....	14
Cadre 3-1: Relation de percolation .....	20
Cadre 3-2: Coefficient d'uniformité, valeurs conseillées .....	20
Cadre 3-3: Conductivité de l'eau et risque de salinité .....	24
Cadre 3-4: Valeurs d'évapotranspiration obtenues grâce au programme CROPWAT.....	26
Cadre 3-5: Valeurs de précipitation obtenues grâce au programme CROPWAT.....	27
Cadre 3-6: Zone humide selon la texture .....	29
Cadre 3-7: Coefficients de variation des goutteurs.....	31
Cadre 3-8: Valeurs caractéristiques de la sous unité type A.....	43
Cadre 3-9: Valeurs caractéristiques de la sous unité type B.....	44
Cadre 3-10: Caractéristiques des canalisations latérales.....	44
Cadre 3-11: Caractéristiques des conduites maitresses .....	44
Cadre 4-1: Diamètres standardisés .....	50
Cadre 4-2: Données d'entrée zone ouest.....	52
Cadre 4-3: Diamètres obtenus zone Ouest .....	53
Cadre 4-4: Donnés pour EPANET zone ouest .....	53
Cadre 4-5: Données de la pompe pour la zone Ouest .....	53
Cadre 4-6: Données de la pompe pour la zone Est .....	54
Cadre 5-1: Valeurs de Kc (source: FAO).....	64
Cadre 5-2: Valeurs de profondeur de racine et disponibilité de l'eau dans le sol (source FAO) .....	65
Cadre 5-3: Valeurs de la conductivité électrique du sol à partir de laquelle la diminution de la production de la plante est de 100%. .....	66



## **Illustrations:**

Illustration 2-1: Système d'arrosage goutte à goutte .....	13
Illustration 2-2: Schéma de la parcelle .....	14
Illustration 3-1: Procesus de calcul.....	15
Illustration 3-2: Interaction entre les différentes feuilles de calculs .....	16
Illustration 3-3: Bilan hydrique.....	17
Illustration 3-4 Variation du coefficient de culture selon le stade de croissance .....	19
Illustration 3-5: Configuration des sous unités: canalisations latérales et conduite principale .....	29
Illustration 3-6: Goutteurs interne et externe .....	30
Illustration 3-7: Goutteurs non auto-régulant .....	31
Illustration 3-8: Exemple de données de catalogue de goutteurs .....	32
Illustration 3-9: Disposition des canalisations latérales .....	35
Illustration 3-10: Pente des canalisations latérales.....	35
Illustration 3-11: Relations de causes/effets des paramètres de la sous unité .....	39
Illustration 4-1: Configurations du système d'arrosage .....	47
Illustration 4-2: Configuration (1) du réseau.....	49
Illustration 4-3: Configuration (2) du réseau.....	49
Illustration 4-4: Paramètres du réseau.....	51
Illustration 4-5: Séparation de la parcelle en deux zones .....	51
Illustration 4-6: Zone Ouest.....	52
Illustration 4-7: Choix de pompe incorrect .....	55
Illustration 4-8: Choix de la pompe correct.....	55
Illustration 4-9: Modèle crée sous EPANET .....	58
Illustration 4-10: Schéma hydraulique de la zone Ouest .....	60
Illustration 4-11: Pertes de charges des valves de modélisation des sous unités .....	60
Illustration 4-12: Courbe Caractéristique de la pompe sous EPANET .....	61
Illustration 4-13: Résultats de la simulation concernant les noeuds .....	61

Illustration 4-14: Résultats de la simulation concernant les tuyaux .....	62
Illustration 5-1: Textures du sol.....	63
<b>Aperçus du programme:</b>	
Aperçu du programme 3-1: Choix de la culture .....	23
Aperçu du programme 3-2: Données climatiques .....	23
Aperçu du programme 3-3: Données du sol .....	24
Aperçu du programme 3-4: Résultats des calculs hydriques .....	25
Aperçu du programme 3-5: Propriétés des goutteurs .....	34
Aperçu du programme 3-6: Propriétés de la canalisation latérale .....	36
Aperçu du programme 3-7: Propriétés de la conduite maitresse.....	36
Aperçu du programme 3-8: Validation de la sous unité .....	38
Aperçu du programme 3-9: Disposition des goutteurs et zones mouillées.....	40
Aperçu du programme 3-10: Répartition de la pression dans les goutteurs.....	40
Aperçu du programme 3-11: Durée de débit d'arrosage .....	41
Aperçu du programme 4-1: Diamètres conseillés et choisis.....	50
Aperçu du programme 4-2: Courbe caractéristique et rendement de la pompe.....	56
Aperçu du programme 4-3: Entrée de la courbe de la pompe .....	57

## Présentation du programme

### 1.1. Objectifs du programme

Le programme qui va être présenté ici a été développé dans le cadre d'un stage réalisé avec l'ONG Action Contre la Faim-Espagne. La thématique du stage était la création de systèmes d'irrigation par goutte-à-goutte dans le Sahel, et plus particulièrement en Mauritanie. L'objectif initial du programme était de faciliter les calculs à réaliser pour le dimensionnement d'un système de goutte-à-goutte pour ce cas particulier. Cependant, il devint rapidement évident qu'en effectuant quelques modifications, le programme permettrait d'aider à dimensionner une grande variété de cas et pas seulement ce cas particulier. En fin de compte, le programme a été adapté de façon à être suffisamment général pour pouvoir être utilisé dans des projets de coopération ou d'autres types de projets.

L'objectif de ce programme est de disposer d'un outil d'aide lors de la conception de systèmes d'arrosage par goutte-à-goutte. Plus concrètement, il permet de:

- Calculer les besoins hydriques des cultures à partir de données de la plante, du sol et du climat. Ce calcul se réalise uniquement pour le mois le plus défavorable qui sert de point de départ pour le dimensionnement du reste du système goutte-à-goutte. Des paramètres d'arrosage (dose et fréquence) sont également proposés.
- Choisir les tuyaux, les goutteurs adaptés et vérifier que la configuration des tuyaux respecte les critères de base de dimensionnement de ce type de système. Pour faciliter le choix du matériel à utiliser, les tuyaux proposés utilisent les diamètres standards des fabricants, mais de nouveaux diamètres peuvent également être introduits.
- Proposer un critère de choix de la pompe, en comparant la courbe de fonctionnement de celle-ci et le point de fonctionnement requis.
- Créer un modèle simplifié du système d'arrosage utilisable sous le programme EPANET. Ce programme de modélisation de réseau d'eau permet, dans ce cas, d'obtenir une simulation plus exacte du comportement global du système d'arrosage.

### 1.2. Fonctionnement

Une des idées clés du programme est qu'il doit pouvoir être utilisé facilement par tous. Pour cela, il a été implanté sous Excel, de façon à ce qu'il n'y ait pas besoin de l'installer ou de compiler quoi que ce soit.

Pour pouvoir l'utiliser, il faut que Microsoft Office Excel soit installé sur l'ordinateur (version 2003, 2007 ou 2010) et obtenir le classeur qui contient le programme (par téléchargement, copie sur CD ou autre). En ouvrant le classeur, une série de feuilles de calculs apparaissent. Elles sont la base du programme : elles permettent d'entrer les données nécessaires et de fournir les résultats obtenus. Les calculs s'effectuent sur des feuilles qui ne sont pas visibles et ne peuvent pas être modifiées. Pour obtenir des résultats cohérents, il faut remplir les feuilles séquentiellement et, dans certains cas, noter les résultats pour pouvoir les reporter dans les feuilles suivantes. Le fonctionnement détaillé des feuilles de calculs est expliqué plus loin dans le document (voir Illustration 3-2: Interaction entre les différentes feuilles de calculs).

Le programme est organisé en feuilles de calculs, une organisation similaire a donc été choisie pour ce manuel. Il contient la description de chaque feuille de calculs dans l'ordre où elle doit être utilisée. Pour chaque feuille, une première partie théorique permet d'introduire les notions nécessaires à la compréhension du fonctionnement de celle-ci et le détail des calculs est exposé. Ces calculs se font de manière automatique dans le programme, leur présentation dans ce manuel a un rôle purement indicatif. Une deuxième partie permet de présenter les données qui sont demandées pour le fonctionnement correct de la feuille, ainsi que les résultats produits. Enfin, un exemple détaillé tout au long du manuel permet de voir une application concrète du programme.

La première feuille de calcul du classeur, appelée « 0. INSTRUCTIONS », n'est pas détaillée ici puisqu'il s'agit en fait d'un résumé du fonctionnement des différentes feuilles, similaire aux explications données dans ce manuel.

## 2. Définition des sous- unités

### 2.1. Introduction

Lorsque l'on veut concevoir un système d'arrosage, il est intéressant et souvent nécessaire de le séparer en plusieurs sections qui sont dimensionnées chacune de façon indépendante avant d'être intégrées dans la conception d'ensemble. Une section correspond à un espace dédié à la culture d'une seule espèce de plante et dont les caractéristiques (type de sol, pente...) sont globalement homogènes. L'ensemble des dispositifs (tuyaux, valves...) qui permettent l'arrosage d'une section s'appelle une sous-unité. Elle est composée principalement d'une conduite maîtresse, d'une série de canalisations latérales, de goutteurs et de tous les éléments de contrôle nécessaires à son bon fonctionnement.

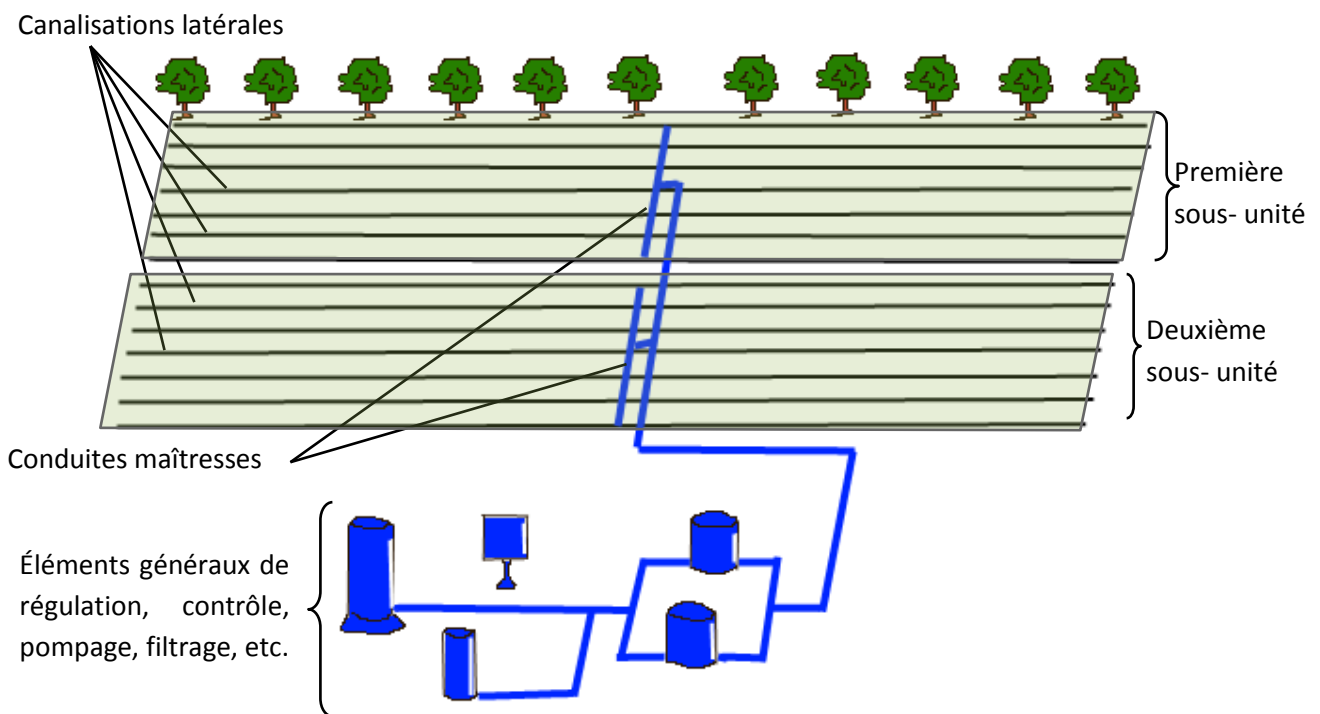


Illustration 2-1: Système d'arrosage goutte à goutte

Avant de pouvoir dimensionner le système d'arrosage, il faut commencer par définir les espaces qui vont être cultivés et les sous-unités associées. Les sous-unités peuvent être différentes les unes des autres, ce qui implique une plus grande versatilité mais aussi une plus grande charge de travail puisqu'il faut dimensionner chaque sous-unité indépendamment. Rien n'empêche cependant d'avoir des sous-unités similaires lorsque le terrain le permet. La première question à se poser est donc "Combien de sous-unités vais-je devoir utiliser?" suivie de "Quelles vont-être les caractéristiques de chaque sous-unité?"

La réponse la plus simple à la première question est : une sous-unité par espèce de plante cultivée, bien que dans la pratique une même espèce puisse être cultivée sur plusieurs sous-unités. Pour la deuxième question, il s'agit de déterminer la pente existante, les caractéristiques du sol etc.

### 2.1.1. Exemple détaillé : N'Diokouti

La parcelle de N'Diokouti mesure à peu près un demi-hectare (soit 5000 m<sup>2</sup>) sur un terrain plat et uniforme. On y cultive 11 types de plantes. En conséquence, on va y installer 11 sous-unités. Afin de simplifier le dimensionnement, on va utiliser des sous-unités similaires, en les groupant selon 2 types :

Sous unités type A : taille de 14m x 21m, avec 9 sous-unités similaires

Sous unités type B : taille de 10m x 27m, avec 2 sous-unités similaires.

Comme on peut voir sur le Cadre 2-1, la superficie totale de zone cultivée (3186 m<sup>2</sup>) est inférieure à celle de la parcelle. L'espace non cultivé sera utilisé pour le stockage de l'eau ou pour des installations secondaires (pépinière, zone de compost, rangement des outils...). L'illustration 2-2: Schéma de la parcelle permet de visualiser l'occupation de l'espace sur la parcelle.

	N° sous-unités similaires	Largeur [m]	Longueur [m]	Surface de la sous unité [m <sup>2</sup> ]	Surface totale [m <sup>2</sup> ]
<b>A</b>	9	14	21	294	2646
<b>B</b>	2	10	27	270	540
<b>TOTAL:</b>					<b>3186</b>

Cadre 2-1: Dimensions des sous unités

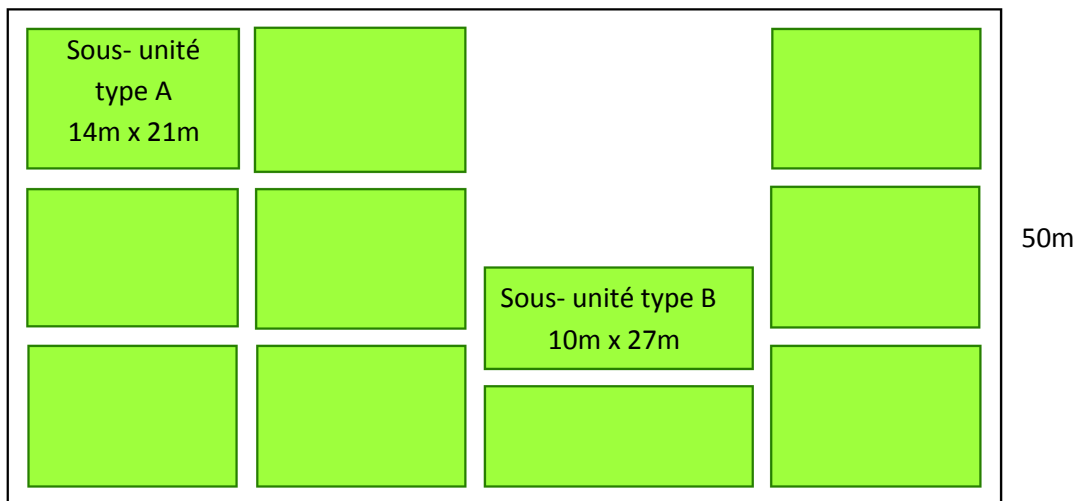


Illustration 2-2: Schéma de la parcelle

### 3. Dimensionnement des sous- unités

#### 3.1. Processus de calcul

Les quatre premières feuilles de calcul de l'Excel ont pour objectif de dimensionner les sous-unités. Le dimensionnement est individuel, c'est à dire que pour chaque sous- unité, il faut remplir successivement ces quatre premières feuilles puis noter les résultats avant de passer à la suivante (cadre bleu de l'illustration 3-1: Procesus de calcul). Les feuilles de calcul 5, 6 et 7 servent à dimensionner les équipements communs à tout le système (tuyaux de connexion, pompe) et à créer un fichier utilisable avec le programme EPANET.

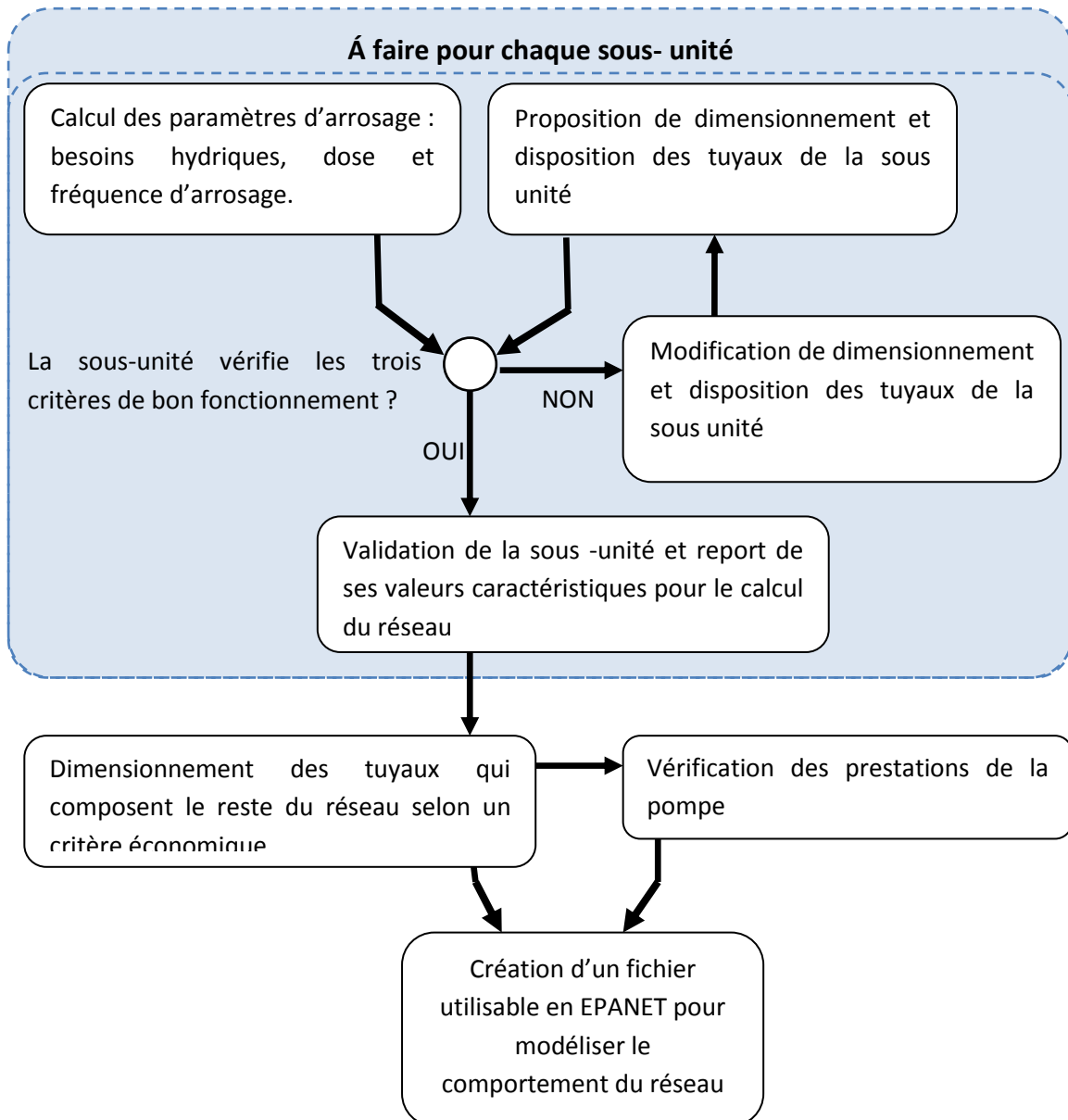


Illustration 3-1: Procesus de calcul

Les différentes feuilles de calcul interagissent entre elles et une partie de l'information est transmise automatiquement d'une feuille à l'autre. Le schéma suivant détaille les interactions entre feuilles:

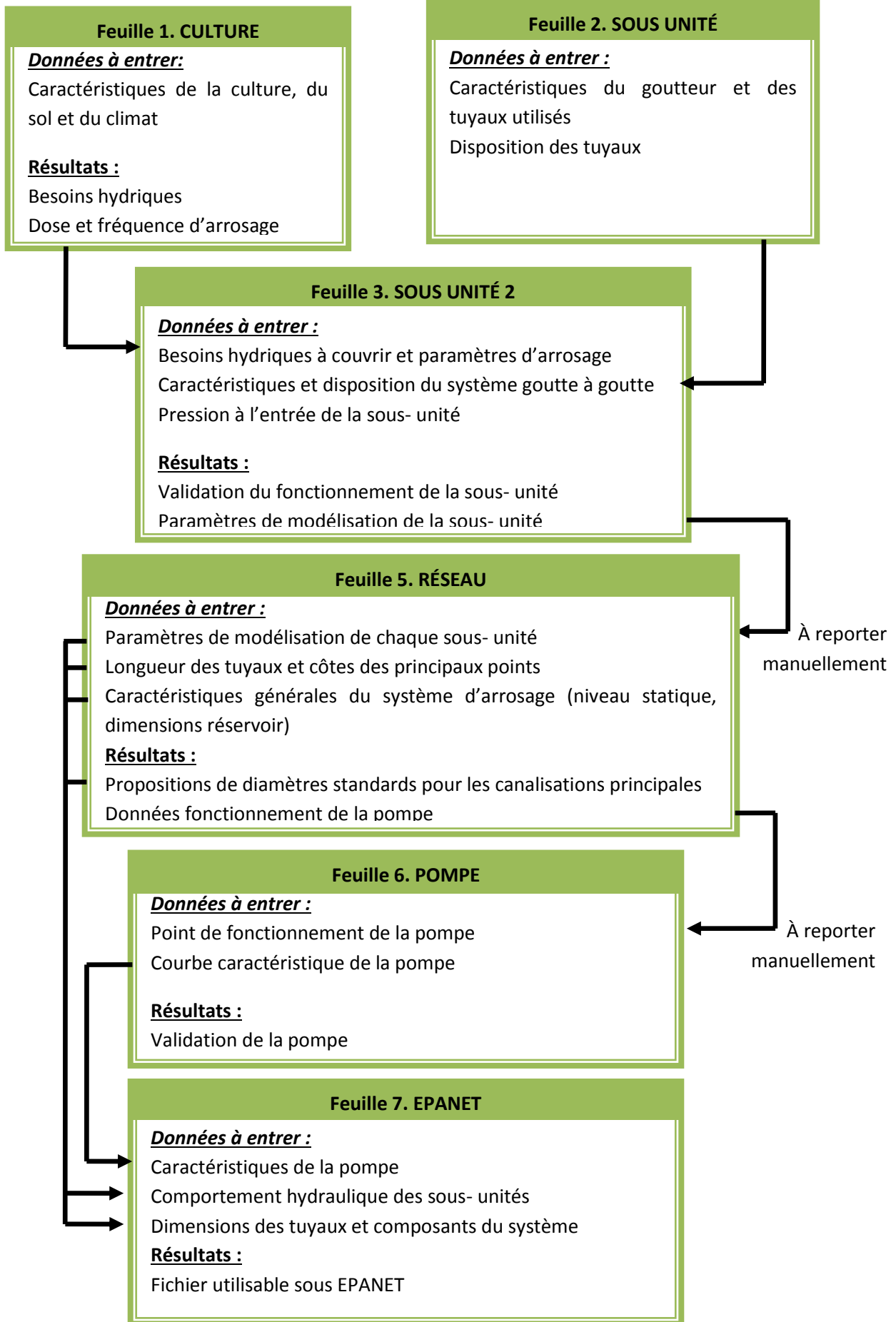


Illustration 3-2: Interaction entre les différentes feuilles de calculs



La première étape pour dimensionner une sous- unité est le calcul des besoins hydriques de la plante cultivée. Une fois ces besoins estimés, des paramètres d'arrosage (dose, fréquence) sont proposés afin de couvrir ces besoins. Cette estimation initiale s'effectue grâce à la première feuille de calcul intitulée 1. CULTURE.

### 3.2. Feuille de calcul 1. CULTURE

#### 3.2.1. Explication du processus de calcul

L'objectif de cette feuille est de calculer les besoins hydriques des cultures. Ces besoins correspondent à la quantité d'eau qu'il faut apporter à la plante pour que celle-ci se développe correctement. Les besoins hydriques varient principalement selon le type de plante, le sol, le climat et les conditions météorologiques (précipitation, évapotranspiration...). En réalité, savoir la quantité d'eau à apporter revient à faire un bilan entre les apports (principalement la pluie et l'arrosage, mais aussi les eaux souterraines et l'humidité rémanente du sol) et les pertes qui se modélisent sous la forme d'évapotranspiration. Ce bilan, schématisé sur l'illustration 3-3, peut se résumer par l'équation suivante :

$$NR_n = ET_c - P_e - \Delta G - \Delta W$$

Équation 3-1: Besoins hydriques nets

**NR<sub>n</sub>** : Besoins hydriques nets [mm/mois] ou [mm/jour]

**ET<sub>c</sub>** : Evapotranspiration de la culture [mm/mois] ou [mm/jour]

**P<sub>e</sub>** : Précipitations efficaces [mm/mois] ou [mm/jour]

**ΔG** : Eau qui arrive à la zone racinaire par ascension capillaire depuis le niveau phréatique [mm/mois] ou [mm/jour]

**ΔW** : Variation de l'humidité rémanente du sol [mm/mois] ou [mm/jour]

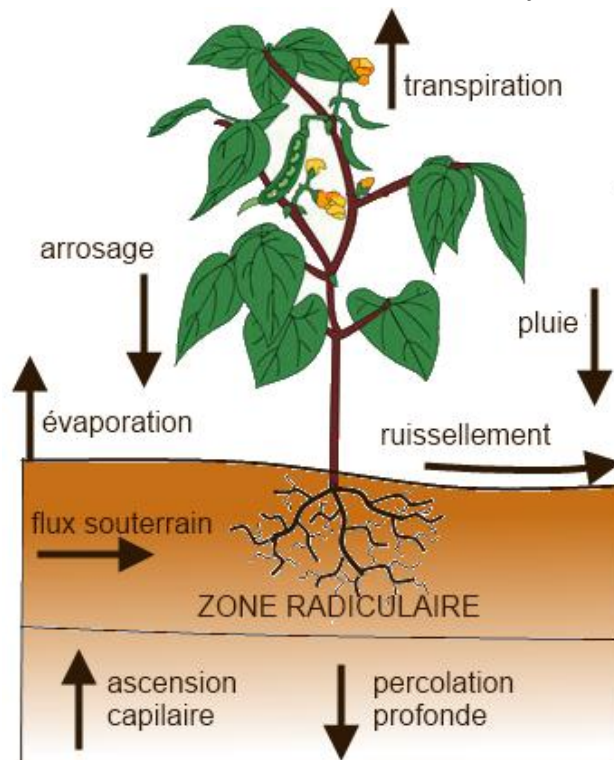


Illustration 3-3: Bilan hydrique

**Détermination des paramètres de l'Équation 3-1:**

**$\Delta G$**  : Dans le cas présent, on a considéré que l'eau qui arrive à la zone racinaire par ascension capillaire depuis le niveau phréatique est négligeable. Cela se justifie si on considère que la nappe phréatique est à une profondeur suffisante pour garantir qu'elle n'affecte pas la zone racinaire.

**$\Delta W$**  : Dans les systèmes d'arrosage par goutte-à-goutte, la fréquence d'arrosage est élevée, ce qui limite les variations de l'humidité rémanente dans le sol. Dans le cas présent, celle-ci a également été négligée.

**$P_e$**  : Les précipitations efficaces correspondent à la fraction des précipitations qui est réellement disponible pour la plante. En effet, une bonne partie des précipitations est perdue pour les racines, que ce soit par ruissellement, par percolation profonde au-delà de la zone racinaire ou par évaporation. Les relations utilisées pour le calcul des précipitations effectives sont les suivantes :

$$\text{Si } P > 75 \text{ mm} \quad P_e = 0,8 \cdot P - 25$$

$$\text{Si } P < 75 \text{ mm} \quad P_e = 0,6 \cdot P - 10$$

**P** : Précipitations mensuelles enregistrées.

**$ET_c$**  : L'évapotranspiration est un paramètre qui dépend du climat, du type de plante et de son état de développement. La valeur s'obtient en multipliant l'évapotranspiration de la culture de référence  **$ET_0$**  avec un coefficient de la plante  **$K_c$** .

$$ET_c = K_c \cdot ET_0$$

**Équation 3-2 Évapotranspiration**

**$ET_0$**  : Évapotranspiration de référence [mm/mois] ou [mm/jour]

**$K_c$**  : Coefficient de culture [-]

L'évapotranspiration de référence,  **$ET_0$** , est une valeur standard de d'évapotranspiration relative à une culture de référence. Cette évapotranspiration de référence est calculée à partir des données climatiques, notamment des mesures de la vitesse du vent et des mesures d'évaporation au pan. Elle varie donc d'un mois à l'autre. Il est possible de trouver les valeurs de  **$ET_0$**  dans certaines bases de données (voir ensuite l'exemple détaillé).

Le coefficient de culture,  **$K_c$** , est lié au type de la culture considérée, à son stade de croissance, à la saison de plantation et aux conditions climatiques dominantes. Ce coefficient varie habituellement de 0,3 environ au cours de la période initiale à près de 1,0 (ou un peu plus de 1,0) durant la période de croissance maximale à la mi-saison. Ainsi la valeur effective des besoins en eau d'une culture  **$ET_c$**  varie considérablement tout le long de son cycle de croissance (voir Illustration 3-4). A partir de là, deux options sont possibles : calculer les besoins hydriques mois à mois (voir semaine à semaine), ou utiliser les valeurs les plus critiques pour déterminer les besoins hydriques maximum. Dans le programme, c'est la deuxième option qui est utilisée.

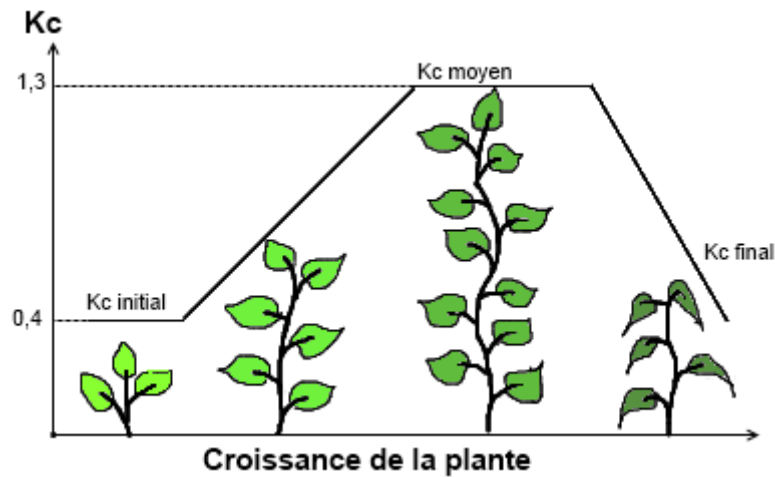


Illustration 3-4 Variation du coefficient de culture selon le stade de croissance

Une fois déterminés les besoins hydriques nets, il faut les majorer afin d'obtenir les besoins hydriques totaux. Différentes raisons expliquent cette majoration:

- Pertes par évaporation au niveau du sol
- Pertes par ruissellement ou percolation profonde
- Lavage du sol, lorsqu'il est nécessaire d'apporter davantage d'eau pour éloigner les sels présents dans le sol loin des racines
- Distribution non homogène de l'eau, qui oblige à apporter davantage d'eau aux zones plus favorables pour s'assurer que les zones les plus défavorables reçoivent une quantité suffisante.

En fonction de toutes ces données, on définit une efficacité d'arrosage qui relie besoins nets et besoins totaux:

$$NR_t = \frac{NR_n}{E_a}$$

Équation 3-3: Besoins hydriques totaux

**NR<sub>t</sub>** : Besoins hydriques totaux [mm/mois] ou [mm/jour]

**NR<sub>n</sub>** : Besoins hydriques nets [mm/mois] ou [mm/jour]

**E<sub>a</sub>** : Efficacité d'arrosage

L'efficacité d'arrosage est à son tour définie selon l'expression:

$$E_a = R_t \cdot F_r \cdot CU \cdot FL$$

Équation 3-4: Efficacité d'arrosage

**R<sub>t</sub>** : Relation de transpiration

**F<sub>r</sub>** : Facteur d'aspersion

**CU** : Coefficient d'uniformité

**FL** : Facteur de lavage

**Détermination des paramètres de l'Équation 3-4:**

**Rt:** relation de transpiration : Ce coefficient prend en compte les pertes par ruissellement et par percolation profonde. Dans les systèmes goutte- à -goutte, en absence de ruissellement, la relation de transpiration peut s'estimer à partir de la relation de percolation selon les valeurs du cadre suivant:

Profondeur des racines	Climat aride				Climat humide			
	texture				texture			
	lourde	grossière	moyenne	fine	lourde	grossière	moyenne	fine
< 75 cm	0,85	0,90	0,95	0,95	0,65	0,75	0,85	0,90
75 - 150 cm	0,90	0,90	0,95	0,95	0,75	0,80	0,90	0,95
> 150 cm	0,95	0,95	1,00	1,00	0,85	0,90	0,95	1,00

Cadre 3-1: Relation de percolation

**Fr :** le facteur d'aspersion s'utilise uniquement pour les systèmes d'irrigation par aspersion, dans le cas du système goutte à goutte, ce facteur n'affecte pas et vaut 1.

**CU :** le coefficient d'uniformité tient compte du fait que les goutteurs ne libèrent jamais un débit complètement uniforme sur toute la sous-unité, soit parce que les frottements dans les tuyaux provoquent des pertes de pression et donc des conditions de travail différentes pour chaque goutteur, soit parce que le goutteur, en soit, a une certaine variation de débit. Le coefficient d'uniformité se définit comme:

$$CU = \left(1 - \frac{1,27 \cdot CV}{\sqrt{e}}\right) \cdot \frac{q_{\min}}{q}$$

Équation 3-5: Coefficient d'uniformité

**CV :** Coefficient de variation de fabrication du goutteur

**q<sub>min</sub>:** Débit du goutteur avec débit minimum

**q :** Débit moyen de tous les goutteurs

**e :** Nombre de goutteurs par plante ou unité de superficie

Les valeurs conseillées pour le coefficient d'uniformité sont les suivantes:

Goutteurs	Pente du sol	Coefficient d'uniformité	
		Climat aride	Climat humide
Espacés de 4m ou plus pour des cultures permanentes	Uniforme (<2%)	0,90-0,95	0,80-0,85
Espacés de moins de 2,5m pour des cultures permanentes ou semi-permanentes	Uniforme (>2%) ou ondulé	0,85-0,90	0,75-0,80
Tuyaux poreux pour cultures annuelles	Uniforme (<2%)	0,85-0,90	0,75-0,80

Cadre 3-2: Coefficient d'uniformité, valeurs conseillées

**FL:** Facteur de lavage : La salinité de l'eau d'arrosage peut obliger à apporter un excès d'eau lors de l'arrosage pour lessiver le sol et éviter l'accumulation des sels.

$$FL = 1 - \frac{RL}{RL}$$

Équation 3-6: Facteur de lavage

L'efficacité de lavage, **EL**, varie de 30% pour les sols sableux à 100% pour les sols argileux.

La relation de lavage, **RL**, dépend de la salinité de l'eau d'arrosage, et de la valeur de conductivité du sol à partir de laquelle la diminution de la production de la plante est de 100%.

On définit la relation de lavage **RL** comme:

$$RL = \frac{CE_a}{2 \cdot CE_{e,max}}$$

Équation 3-7: Relation de lavage

**CE<sub>a</sub>** est la conductivité électrique de l'eau d'arrosage en [dS/m].

**CE<sub>e,max</sub>** est la conductivité électrique du sol à partir de laquelle la diminution de la production de la plante est de 100% en [dS/m]. Des valeurs pour différentes plantes peuvent être obtenues à partir du document « Estudio FAO riego y drenaje nº 56. » ou sa version en anglais (référence bibliographique [5]). Les cadres à partir desquels on peut obtenir cette information sont détaillés dans la partie 5 : Information complémentaire.

L'étape suivante consiste à déterminer la fréquence d'arrosage et la quantité d'eau à apporter à chaque arrosage. Pour cela, on considère qu'il faut arroser quand l'eau facilement disponible pour les racines des plantes diminue.

L'équation qui permet de déterminer la dose d'arrosage est la suivante:

$$Dn = H \cdot (Cc - Pm) \cdot f$$

Équation 3-8: Dose nette d'arrosage

**Dn:** Dose nette d'arrosage [mm]

**H:** Profondeur des racines [cm]

**Cc:** Capacité au champ [mm/cm]

**Pm:** Point de flétrissement [mm/cm]

**f:** Disponibilité de l'eau dans le sol [-]

La capacité au champ et le point de flétrissement sont des valeurs caractéristiques du sol qui peuvent être estimées à partir de sa texture (voir partie Texture du sol :5.2 Information complémentaire, la texture du sol).

La profondeur des racines et la disponibilité de l'eau dans le sol dépendent du type de plante. Comme pour la conductivité électrique du sol, des valeurs indicatives peuvent être obtenues à partir du document « Estudio FAO riego y drenaje nº 56. » (voir référence bibliographique [5] et cadres de la partie 5 : Information complémentaire).

La dose totale et la dose nette sont liées par la même relation que les besoins hydriques :

$$Dt = \frac{Dn}{Ea}$$

Équation 3-9: Dose totale

**Dt** : Dose totale [mm]

**Ea** : Efficacité d'arrosage définie précédemment [-]

Une fois définis les besoins hydriques à couvrir et la dose à apporter à chaque arrosage, la fréquence d'arrosage s'obtient comme:

$$i = \frac{Dn}{NR_n} = \frac{Dt}{NR_t}$$

Équation 3-10: Fréquence d'arrosage

**i** : Fréquence d'arrosage en jour ou mois selon les unités des besoins hydriques.

Les variables **Dn** et **NRn** doivent être exprimées dans les mêmes unités, en m<sup>3</sup>/ha, l/m<sup>2</sup> ou en mm (voir si besoin, les équivalences entre unités détaillées dans la partie 5, informations complémentaires).

### 3.2.2. Entrée des données dans la feuille de calcul

Le principe de fonctionnement de la feuille de calcul est qu'aucun calcul ne doit être réalisé manuellement. À partir des données à entrer, les calculs se font automatiquement et seuls les résultats des calculs apparaissent.

Le premier pas consiste à sélectionner dans le menu le type de plante qui va être cultivé. Cette sélection a pour but de déterminer quatre paramètres relatifs à la plante qui vont influencer sur les calculs postérieurs : Le coefficient de culture relatif à l'évapotranspiration **Kc**, la conductivité électrique du sol à partir de laquelle la diminution de la production de la plante est de 100% **CEe,max**, la profondeur des racines **H** et la disponibilité de l'eau dans le sol **f**. Le programme propose des valeurs pour ces paramètres issues de données de la FAO (référence bibliographique [5]). Pour utiliser ces valeurs préenregistrées, il suffit de cocher l'option « Valeurs automatiques ». Si on préfère utiliser des valeurs différentes à celles enregistrées, il faut cocher l'option « Valeurs manuelles » et rentrer les quatre paramètres demandés dans les cases en jaune.

**1. CHOIX DE LA CULTURE**

tomate
aubergine
oignons
pastèque
arachide
chou
carotte

Valeurs automatiques       Valeurs manuelles ↩

*coefficient de culture: 1,05*

*CEe,max: 11 dS/m*

*profondeur des racines: 95 cm*

*disponibilité de l'eau dans le sol:*  
*0,45/1*

*kc: 1,2*

*CEe,max: 5,00*

*H en cm: 50*

*f: 0,5*

Aperçu du programme 3-1: Choix de la culture



Si l'option « valeurs automatiques » est cochée, ce sont les valeurs enregistrées qui seront prises en compte, même si des paramètres ont été définis dans les cases jaunes. On peut trouver des valeurs affichées à côté des noms des paramètres qui ne correspondent pas aux valeurs dans les cellules en jaune. Attention donc à bien cocher l'option choisie.

L'étape suivante concerne les données climatiques. Il s'agit de donner les valeurs de l'évapotranspiration mensuelle (en mm/mois) et des précipitations (en mm/mois) puis de sélectionner le type de climat entre aride et humide. Les valeurs demandées sont celles du mois le plus exigeant, c'est-à-dire celles où la différence entre l'évapotranspiration et les précipitations est la plus élevée. Deux programmes sont disponibles sur le site de La FAO, CLIMWAT et CROPWAT<sup>?</sup>. Ils permettent d'obtenir des valeurs estimées d'évapotranspiration et de précipitations dans le cas où on ne dispose pas d'autres valeurs.

**2. DONNÉES CLIMATIQUES**

- évapotranspiration en mm/mois 210
- précipitations mensuelles en mm: 0

climat humide       climat aride

Aperçu du programme 3-2: Données climatiques

Le troisième cadre à remplir concerne les données du sol. On commence par choisir la finesse et la texture du sol dans les deux listes proposées en fonction des proportions de sable/argile et limon qu'il contient (voir partie 5.2 Information complémentaire, texture du sol). On estime ensuite l'efficacité de lavage de l'arrosage en fonction du type de sol: plus le sol contient de sable, plus cette efficacité augmente, plus il contient d'argile, plus elle est faible avec une valeur minimum de 30%.

Le menu suivant concerne la salinité de l'eau d'arrosage. L'indice de salinité varie de 1 à 4, la valeur 1 correspondant à un risque de salinité faible et la valeur 4 a un risque très élevé. La conductivité de l'eau est un bon indicateur de sa salinité, la relation entre indice de salinité et conductivité apparaît dans le Cadre 3-3. Les limites de conductivité correspondant aux différents indices de salinité apparaissent également dans le menu déroulant comme indicateur pour choisir l'indice de salinité qui se rapproche le plus de l'eau qui va être utilisée.

Indice de salinité	Conductivité électrique de l'eau d'arrosage à 25°C [dS/m]	Risque de salinité
1	< 0,75	Faible
2	0,75 - 1,5	Moyen
3	1,5 - 3,0	Elevé
4	>3,0	Très élevé

Cadre 3-3: Conductivité de l'eau et risque de salinité

Le point suivant concerne le coefficient d'uniformité supposé de l'arrosage. Un arrosage par goutte-à-goutte n'est jamais complètement uniforme à cause des pertes de charge dans les tuyaux et de la variabilité propres aux goutteurs. De ce fait, il faut prendre en compte les différences de quantité d'eau apportée afin d'assurer que même les zones les plus défavorables reçoivent suffisamment d'eau. Le coefficient demandé ici est une première estimation, la valeur exacte sera calculée plus tard et reportée ici pour un affinage des résultats. Le Cadre 3-2 page 20 est un bon indicateur des valeurs que l'on peut espérer atteindre en fonction des caractéristiques du système d'arrosage.

Enfin, il faut renseigner la température de l'eau puisque celle-ci affecte la viscosité.

**3. DONNÉES DU SOL**

- texture:
  - lourde
  - grossière
  - moyenne**
  - fine
- efficacité de lavage: 90 %
  - argile
  - sable
- indice de salinité de l'eau d'arrosage:
  - 1: faible risque de salinité (CEa < 0,75 dS/m)
- Coefficient d'uniformité supposé <sup>(1)</sup>
- Temperature de l'eau d'arrosage en °C

Aperçu du programme 3-3: Données du sol

Une fois entrées toutes ces données, le programme donne une série de résultats dans le cadre de droite. Tout d'abord, il indique la quantité nette d'eau à apporter aux plantes pour satisfaire leurs besoins hydriques, en l/m<sup>2</sup>.mois (mois considéré de 30 jours). Pour pouvoir apporter cette quantité d'eau aux plantes, il est nécessaire d'arroser avec une quantité supérieure puisqu'il existe toujours des pertes par évaporation, percolation etc. Ainsi, le programme indique l'efficacité de l'arrosage (la proportion de l'eau apportée qui est captée par la plante) puis le besoin d'arrosage total en l/m<sup>2</sup>.mois, qui correspond cette fois à la quantité d'eau qu'il faut réellement apporter.



À partir de là, deux options sont possibles : utiliser les paramètres d'arrosage conseillés par le programme, ou utiliser des paramètres personnalisés. Si l'option « paramètres d'arrosage conseillés » est cochée, le programme calcule la dose d'eau à apporter à chaque arrosage et à partir de là le nombre de jours par mois où il faut arroser et le nombre de fois par jour. Si l'option « paramètres d'arrosage personnalisés » est cochée, il faut renseigner les fréquences d'arrosage par jour et en nombre de jours/mois (toujours de 30 jours). La dose d'eau à apporter à chaque arrosage n'est pas demandée car elle se calcule automatiquement de manière à couvrir les besoins en eau calculés précédemment.

RÉSULTATS	
● Besoin d'arrosage net en l/m2 et mois	241,5
● Efficacité d'arrosage	0,72
● Besoin d'arrosage total en l/m2 et mois	335
<input checked="" type="radio"/> Paramètres d'arrosage conseillés	
Dose d'arrosage totale en l/m2	11
Nombre de jours par mois avec arrosage (/30)	30
Nombre d'arrosage par jour	1
<input type="radio"/> Paramètres d'arrosage personnalisés	
Nombre de jours par mois avec arrosage (/30)	30
Nombre d'arrosage par jour	2

Aperçu du programme 3-4: Résultats des calculs hydriques

### 3.2.3. Exemple détaillé : N'Diokouti

Sur la parcelle de N'Diokouti, on va établir une rotation des cultures. De ce fait, toutes les sous-unités vont être dimensionnées pour le type de culture le plus exigeant en eau. En changeant la sélection du type de plante dans le premier menu, il est possible de vérifier rapidement que c'est le cas de la tomate. Toutes les sous-unités vont donc être dimensionnées en prenant pour base la culture de cette plante. Les valeurs utilisées sont celles par défaut, soit :

Coefficient de culture **Kc** = 1,2

Conductivité électrique du sol à partir de laquelle la diminution de la production de la plante est de 100% **C<sub>Ee,max</sub>** = 5 dS/m

Profondeur des racines **H** = 50 cm

Disponibilité de l'eau dans le sol **f** = 0,5

Pour les données climatiques, il s'agit bien évidemment d'un climat aride mais les données d'évapotranspiration et de précipitations locales ne sont pas connues. Elles vont être estimées grâce aux programmes CLIMWAT et CROPWAT en considérant les valeurs de la station de Kaedi (région du Gorgol, Mauritanie) qui est la plus proche de la parcelle. Le programme CLIMWAT a une liste de stations météorologiques dans le monde entier dont les données peuvent être exportées sous forme de deux fichiers : un fichier **.cli** et un fichier **.pen**. Ces deux fichiers peuvent ensuite être importés dans le programme CROPWAT et fournissent les valeurs mensuelles des données climatiques caractéristiques et de précipitations. Les données pour la station de Kaedi apparaissent dans les Cadre 3-4 et Cadre 3-5.

The screenshot shows a software window titled "ETo Penman-Monteith par mois - C:\Users\CVABRE\Desktop\KAEDI.pen". The interface includes input fields for "Pays" (Location 15), "Station" (KAEDI), "Altitude" (18 m), "Latitude" (16.15 °N), and "Longitude" (13.51 °O). Below these fields is a table with the following data:

Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent km/jour	Insolation heures	Ray. MJ/m²/jour	ETo mm/jour
Janvier	16.6	32.0	17	156	9.4	19.4	5.22
Février	18.5	34.6	17	156	9.9	21.9	5.89
Mars	21.0	36.6	18	181	9.8	23.5	7.04
Avril	24.2	39.6	18	199	9.9	24.6	8.07
Mai	26.5	41.5	22	199	10.0	24.8	8.40
Juin	27.3	41.0	33	216	8.7	22.7	8.18
Juillet	26.0	37.5	48	233	8.5	22.4	7.33
Août	25.0	34.3	64	173	7.1	20.3	5.42
Septembre	24.8	35.2	61	130	8.3	21.5	5.33
Octobre	23.7	38.6	36	95	8.5	20.3	5.18
Novembre	20.6	36.6	22	95	7.7	17.6	4.55
Décembre	18.0	32.2	20	130	7.9	16.9	4.64
Moyenne	22.7	36.6	31	163	8.8	21.3	6.27

Cadre 3-4: Valeurs d'évapotranspiration obtenues grâce au programme CROPWAT

Le premier tableau contient les valeurs d'évapotranspiration dans la colonne de droite sous l'intitulé **ETo**. Les valeurs sont données en mm/jour, elles doivent être converties en mm/mois pour pouvoir les comparer aux valeurs de précipitations. Celles-ci s'obtiennent à partir du second tableau:

The screenshot shows a software window titled 'Précipitations par mois - C:\Users\CVABRE\Desktop\KAEDI.cli'. It features a 'Station' field with 'KAEDI' and a 'Méthode Précipitations eff.' dropdown menu set to 'Méthode USDA S.C.'. Below this is a table with three columns: 'Pluie' (mm) and 'Pluie eff.' (mm). The table lists monthly values from January to December, along with a 'Total' row. The 'Pluie' column values are: Janvier (1.0), Février (1.0), Mars (0.0), Avril (0.0), Mai (1.0), Juin (19.0), Juillet (74.0), Août (103.0), Septembre (74.0), Octobre (14.0), Novembre (1.0), Décembre (0.0), and Total (288.0). The 'Pluie eff.' column values are: Janvier (1.0), Février (1.0), Mars (0.0), Avril (0.0), Mai (1.0), Juin (18.4), Juillet (65.2), Août (86.0), Septembre (65.2), Octobre (13.7), Novembre (1.0), Décembre (0.0), and Total (252.6).

	Pluie	Pluie eff.
	mm	mm
<b>Janvier</b>	1.0	1.0
<b>Février</b>	1.0	1.0
<b>Mars</b>	0.0	0.0
<b>Avril</b>	0.0	0.0
<b>Mai</b>	1.0	1.0
<b>Juin</b>	19.0	18.4
<b>Juillet</b>	74.0	65.2
<b>Août</b>	103.0	86.0
<b>Septembre</b>	74.0	65.2
<b>Octobre</b>	14.0	13.7
<b>Novembre</b>	1.0	1.0
<b>Décembre</b>	0.0	0.0
<b>Total</b>	<b>288.0</b>	<b>252.6</b>

Cadre 3-5: Valeurs de précipitation obtenues grâce au programme CROPWAT

La période de culture va d'octobre à mars. Le mois le plus critique est donc mars avec des précipitations nulles et une évapotranspiration de 7 mm/ jour ou 210 mm/mois.

Le type de sol est sablo-argileux avec une texture moyenne.

L'efficacité de lavage s'estime à 90%.

L'indice de salinité dans la zone est faible, avec peu de risques de salinité.

La température de l'eau d'arrosage considérée est de 20°C.

Avec ces valeurs les résultats obtenus sont :

-Besoins d'arrosage nets : 241,5 l/m<sup>2</sup>.mois

-Efficacité d'arrosage : 0,72

-Besoins d'arrosage totaux: 335,4 l/m<sup>2</sup>.mois

Les paramètres d'arrosage conseillés vont être utilisés, avec une dose totale d'arrosage de 11,2 l/m<sup>2</sup> tous les jours une fois par jour.

### 3.3. Feuilles 2. SOUS UNITÉS et 3. SOUS UNITÉS 2

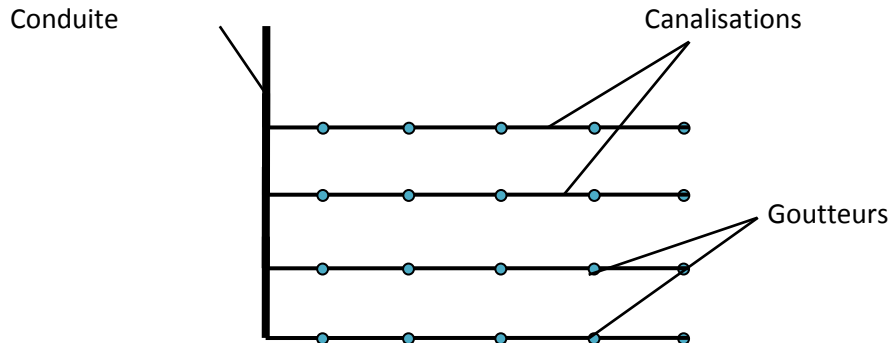
#### 3.3.1. Explication du fonctionnement des sous unités

Une fois déterminés les besoins hydriques à couvrir, on passe au dimensionnement des sous- unités proprement dites. Pour cela, on utilise les deux feuilles de calculs intitulées 2. SOUS UNITES et 3. SOUS UNITES 2 qui permettent de choisir les tuyaux et les goutteurs adaptés, et de vérifier que la configuration des tuyaux respecte les critères de base de dimensionnement de ce type de système. Les besoins hydriques calculés précédemment sont utilisés afin de vérifier que la sous- unité dimensionnée permet d'apporter des quantités d'eau suffisantes (voir Illustration 3-2: Interaction entre les différentes feuilles de calculs).

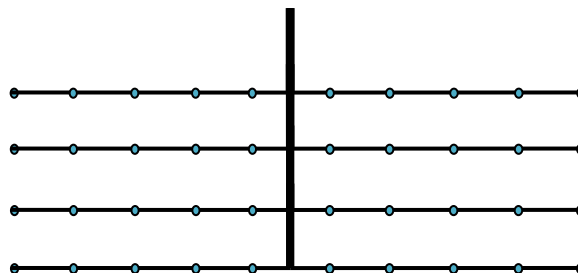
Le fonctionnement général d'une sous- unité est le suivant : L'eau est amenée jusqu'aux orifices de gouttage par un assemblage de tuyaux en plastique, généralement en polyéthylène opaque ou en PVC résistant aux intempéries. Des canalisations latérales, alimentées par une conduite maîtresse, sont posées sur le sol. Ces canalisations sont perforées ou munies de goutteurs spéciaux. Chaque goutteur doit déverser l'eau goutte à goutte sur le sol, à un débit prédéterminé. La pression à l'intérieur des tuyaux s'atténue par frottement lorsque l'eau s'écoule à travers les étroits passages ou orifices du goutteur, si bien que l'eau sort à une pression atmosphérique sous forme de gouttes et non en jet ou aspersion. La conduite maîtresse et les canalisations latérales peuvent être alimentées soit par le centre, soit par un côté. Des informations intéressantes peuvent être trouvées sur le site de la FAO des fournisseurs/fabricants de matériel pour l'irrigation (voir référence bibliographique [7]).

#### Schémas des sous -unités :

- Conduite maîtresse avec alimentation latérale et canalisations latérales alimentées par un côté.



- Conduite maîtresse avec alimentation latérale et canalisations latérales alimentées par le centre.



- Conduite maîtresse alimentée par le centre et canalisations latérales alimentées par le côté ou par le centre.

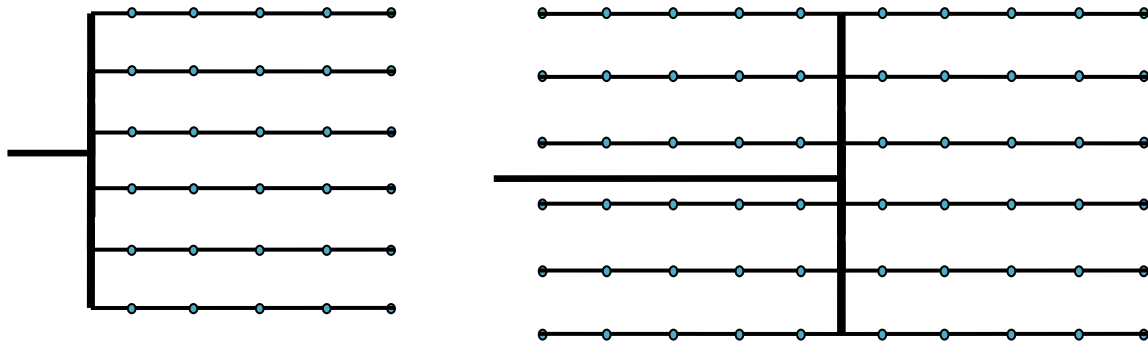


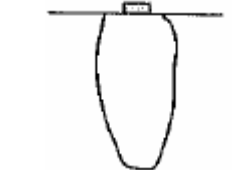


Illustration 3-5: Configuration des sous unités: canalisations latérales et conduite principale

Chaque goutteur crée, au niveau du sol, une zone humide où les racines vont pouvoir se développer. La dimension et la forme de cette zone humide dépendent du type de sol et du débit du goutteur. Des formules génériques permettent d'estimer le diamètre de la zone humide (voir Cadre 3-6: Zone humide selon la texture). Il est conseillé de placer les goutteurs de manière à ce que la zone humide créée par chacun d'entre eux se superpose partiellement avec celle d'à côté. Ainsi, au lieu d'obtenir des zones humides séparées, on crée une zone continue, parallèle à la canalisation latérale qui est davantage propice au bon développement des racines de la culture. Une superposition de 10% minimum est généralement conseillée.

Texture	Estimation du diamètre de la zone humide $D_m$ [m] à partir du débit du goutteur $q$ [l/h]	Forme de la zone humide
Texture fine (argile)	$D_m = 1,2 + 0,1 q$	
Texture moyenne (limon)	$D_m = 0,7 + 0,11 q$	
Texture grossière (sable)	$D_m = 0,3 + 0,12 q$	

Cadre 3-6: Zone humide selon la texture

Les goutteurs commercialisés sont soit internes (fixés à l'intérieur des canalisations latérales) soit externes (enfichés sur les tuyaux à travers des trous perforés dans la paroi de la canalisation) comme on peut voir sur l'illustration suivante:

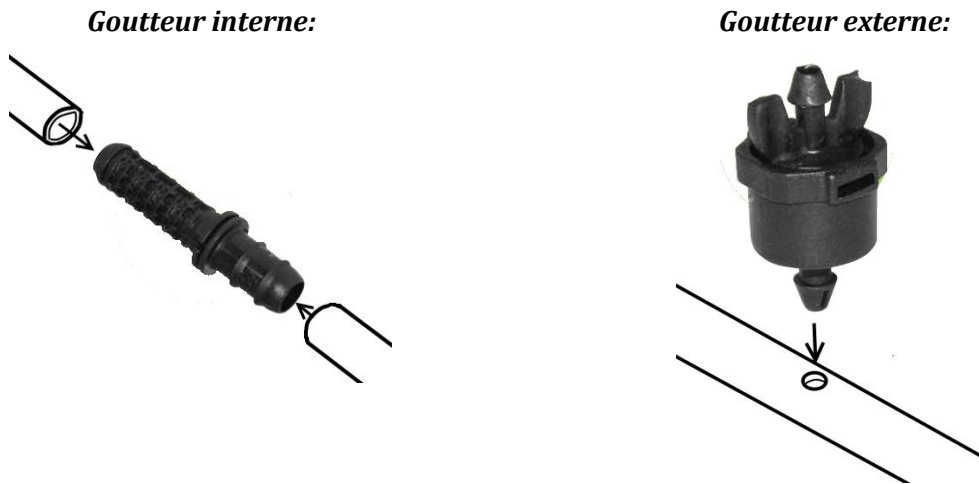


Illustration 3-6: Goutteurs interne et externe

Les goutteurs sont conçus pour évacuer l'eau à un débit constant. Le débit de sortie est toujours altéré par des variations de la pression, mais dans une moindre mesure, si les goutteurs sont munis d'un régulateur de pression (goutteurs dits « auto-régulants »). Les goutteurs auto-régulants libèrent un débit quasiment constant quelque soit la pression du tuyau sur lequel ils sont montés, tant que la pression **est supérieure à une pression minimale appelée pression de fonctionnement**. Les goutteurs non auto-régulants ont également une pression minimum de fonctionnement. Leur comportement pression/débit peut être représenté par l'équation suivante:

$$Q = K \cdot H^x$$

Équation 3-11: Équation caractéristique des goutteurs

**Q** : Débit du goutteur, généralement donné en [l/h]

**K** : Coefficient caractéristique du goutteur

**H** : Pression de travail du goutteur en bar ou mH<sub>2</sub>O. Pour connaître les équivalences entre les différentes unités de pression, voir la partie 5 à la fin du document.

**x** : Exposant caractéristique du goutteur

Le débit nominal, dans le cas des goutteurs non auto-régulants, correspond de façon arbitraire au débit à une pression de 1bar (ou 10 mH<sub>2</sub>O), comme on peut voir avec l'exemple suivant :

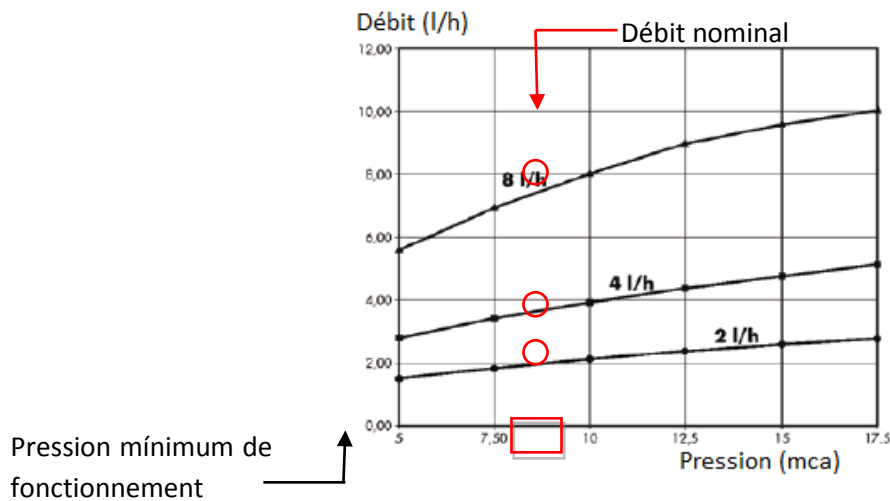


Illustration 3-7: Goutteurs non auto-régulant

Dans tous les cas, il existe une certaine variation entre le débit théorique et le débit réel du goutteur. Les goutteurs les plus performants ont des variations faibles alors que les goutteurs défectueux ont de grandes variations qui rendent difficile un arrosage uniforme. Les variations de débit sont prises en compte grâce à un coefficient appelé coefficient de variation (CV). Les meilleurs goutteurs ont les valeurs de coefficient de variation les plus petites. Le tableau suivant montre des valeurs caractéristiques pour les goutteurs de différentes qualités :

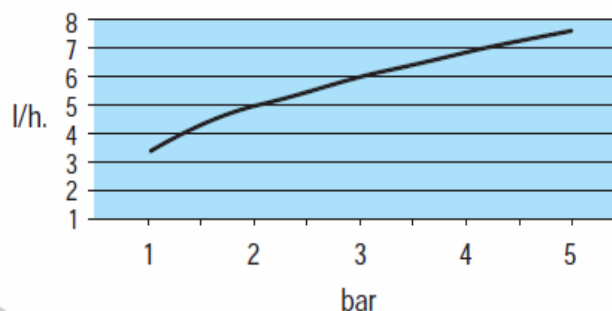
Valeurs	Classification
Coefficient de variation $\leq 0,04$	Excelent
$0,04 \leq$ Coefficient de variation $\leq 0,07$	Moyen
$0,07 \leq$ Coefficient de variation $\leq 0,1$	Marginal
$0,1 \leq$ Coefficient de variation $\leq 0,15$	Déficient
$0,15 \leq$ Coefficient de variation	Généralement inacceptable

Cadre 3-7: Coefficients de variation des goutteurs

**Exemple de données de catalogue :** (<http://www.irrisys.com/docs/goutteur-plasgot.pdf>)

**Goutteurs non auto régulant conique:**

- Régime de travail turbulent
- Débit moyen à 1 bar : 3,53 l/h.
- Coefficient de variation : 3,75%.
- Courbe débit-pression :  
 $Q = 3,48863 \times P^{0,507020}$



**Goutteurs auto-régulant de ≈2 l/h et ≈4 l/h :**

- Intervalle de compensation de 1 à 5 bar.
- Débit moyen : 2,20 l/h.
- Coefficient de variation : 3,5%.
- Courbe débit-pression :  $Q = 2,1228 \times P^{-0,0275}$ .
- Intervalle de compensation de 1 à 5 bar.
- Débit moyen : 3,95 l/h.
- Coefficient de variation : 2,82%.
- Courbe débit-pression :  $Q = 4,05549 \times P^{0,11299}$ .

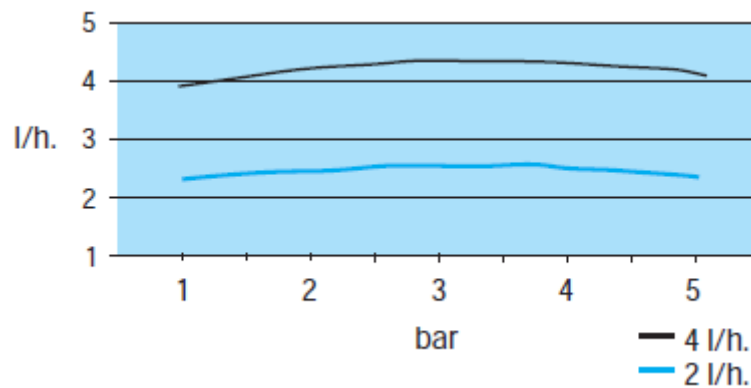


Illustration 3-8: Exemple de données de catalogue de goutteurs

La connexion des goutteurs sur le tuyau provoque une perte de pression dans le tuyau. Pour estimer celle-ci, on utilise la notion de « longueur équivalente », qui est simplement une mesure de la perte de pression provoquée par l'introduction d'un obstacle dans le tuyau. La longueur équivalente s'exprime en mètre et dépend de la façon dont les goutteurs sont connectés sur le tuyau. Les goutteurs internes provoquent une perte de charge équivalente à une longueur constante et égale à 0,23 m. Les goutteurs externes ont une longueur équivalente qui peut être estimée en fonction du diamètre du tuyau selon la formule:  $le = 18,91/D^{1,87}$ . Ces pertes de charges doivent être prises en compte lors du calcul de la pression le long des différents tuyaux, puisqu'elles contribuent (de même que les pertes par frottement) à ce que la pression à l'extrémité du tuyau soit plus faible qu'à son entrée. Elles ont donc un rôle important quant à l'uniformité des pressions auxquelles sont soumis les goutteurs.

**3.3.2. Entrée des données dans la feuille de calcul**

La première feuille contient toutes les données caractéristiques des goutteurs, canalisations latérales et conduite maîtresse. La deuxième feuille sert à contrôler le bon fonctionnement de chaque sous-unité. La façon de procéder est la suivante : les données d'une première proposition sur la disposition des goutteurs et des tuyaux sont introduites dans la feuille sous-unités. On vérifie ensuite que les conditions de fonctionnement sont correctes dans la feuille sous-unités 2. Si ce n'est pas le cas, on modifie les données dans la sous-unité 1 puis on revérifie etc. jusqu'à obtenir une solution satisfaisante.

Les données à introduire sont les suivantes :

***Feuille sous unité, cadre 1 (goutteurs).***

La première étape consiste à choisir entre goutteurs auto-régulants ou non auto-régulants. Si la première option est cochée, il faut renseigner le débit libéré par le goutteur puisque celui-ci se maintient constant. Si l'option « goutteur non auto-régulant » est cochée, il faut renseigner deux coefficients : le **K** et le **x** du goutteur (Équation 3-11: Équation caractéristique des goutteurs) qui permettent de caractériser le goutteur. Les coefficients de trois goutteurs issus de catalogues ont été



introduits dans le programme à titre d'exemple. Pour les utiliser, il suffit de cocher l'option « goutteurs enregistrés par défaut » puis de sélectionner dans la liste le goutteur correspondant en fonction du point de fonctionnement nominal que l'on veut considérer. Les goutteurs enregistrés par défaut sont ceux dont les courbes caractéristiques apparaissent dans l'illustration 3-7: Goutteurs non auto-régulants.

Pour introduire les coefficients de n'importe quel autre goutteur, cocher l'option « goutteur avec coefficient personnalisé » et introduire les deux coefficients. Ces deux paramètres apparaissent généralement dans les catalogues des fabricants et peuvent également s'obtenir à partir des courbes caractéristiques des goutteurs (voir Illustration 3-8: Exemple de données de catalogue de goutteurs).



Les coefficients à donner correspondent à une pression en mètres de colonne d'eau et un débit en  $l/h$ , il faut donc bien ajuster les unités et modifier la valeur de  $K$  si nécessaire.

Une fois choisi le type de goutteur, il faut renseigner le coefficient de variation du goutteur (voir Cadre 3-7: Coefficients de variation des goutteurs).

Le choix du type de goutteur (interne ou externe) proposé ensuite a pour objectif de permettre le calcul des pertes de charges générées par la connexion des goutteurs. Les formules utilisées pour le calcul de la longueur équivalente ont été spécifiées antérieurement. Une troisième option permet de rentrer une valeur personnalisée de la longueur équivalente si les deux estimations proposées selon le type de goutteurs ne s'adaptent pas à la situation.

Enfin, la dernière information à donner dans la partie goutteur concerne la pression minimale à partir de laquelle le goutteur travaille correctement (pression minimum de fonctionnement). Cette pression va généralement de 5  $mH_2O$  à 10  $mH_2O$  pour la plupart des goutteurs sur catalogue.

**4. DONNÉES DU GOUTTEUR**

Goutteur auto-régulant

● Débit du goutteur en l/h: 2

Goutteur non auto régulant:

Goutteurs enregistrés: K: 0,688

débit ≈ 2 l/h  
débit ≈ 4 l/h

x: 0,491

Goutteurs avec coefficients personnalisés: K: 4,294  
( débit Q en l/h et hauteur H en mca) x: 0,688

● coefficient de variation du goutteur <sup>(2)</sup> 0,05

● Pertes de charge: longueur équivalente

Goutteurs internes: Le = 0.23m

Goutteurs externes: Le = 18.91/D<sup>1.87</sup>

Longueur équivalente personnalisée: Le(m) = 0,15

● Pression minimum de fonctionnement en mca: 0,5

Aperçu du programme 3-5: Propriétés des goutteurs

**Feuille sous unité, cadre 2 (canalisations latérales).**

Normalement, les fabricants donnent le diamètre extérieur et la pression nominale de fonctionnement comme indications pour les tuyaux. Une épaisseur de tuyau est associée à chaque paire diamètre extérieur/pression et le diamètre intérieur s'obtient par soustraction:

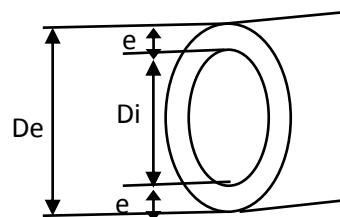
$$D_i = D_e - 2 \cdot e$$

Équation 3-12: Diamètre intérieur

**De** : Diamètre extérieur [mm]

**Di** : Diamètre intérieur [mm]

**e** : Épaisseur [mm]

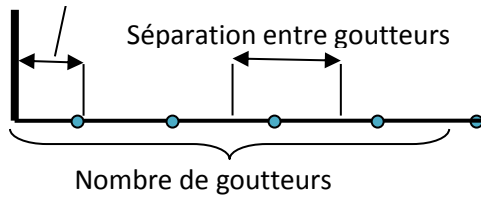


Concernant la canalisation latérale, les renseignements à donner sont la pression et le diamètre extérieur. Si la case jaune correspondante à l'épaisseur est laissée sans valeur, l'épaisseur considérée est celle par défaut qui apparaît en italique (valeurs standard des fabricants). Si une valeur est introduite, le diamètre intérieur est calculé à partir de celle-ci et la valeur par défaut ne se prend pas en compte. La valeur du diamètre intérieur est indiquée en italique.

Ensuite, il faut choisir le mode d'alimentation de la canalisation latérale: par le centre ou par le coté. Si la canalisation latérale est alimentée par le centre, elle est considérée comme symétrique. Les données demandées (distance du premier goutteur, distance entre goutteurs et nombre de goutteurs) sont celles d'un seul coté et sont extrapolées à l'autre côté. La longueur totale d'une canalisation latérale se calcule à partir de ces valeurs et apparait en italique. Les différents paramètres demandés sont représentés sur le schéma suivant:

**Alimentation par un côté :**

Séparation initiale entre l'alimentation et le premier goutteur



**Alimentation par le centre :**

Séparation initiale entre l'alimentation et le premier goutteur de chaque côté

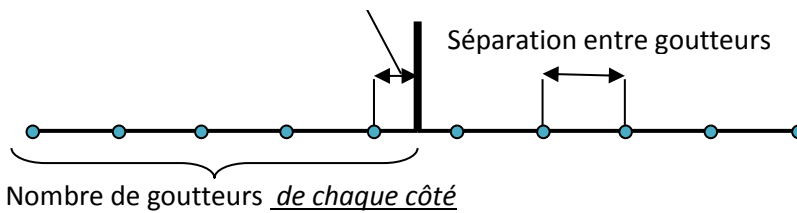


Illustration 3-9: Disposition des canalisations latérales

La dernière valeur demandée est la pente sur laquelle est installée la canalisation latérale. Si celle-ci est alimentée par le centre, le signe ( + ou - ) de la pente n'a pas d'importance puisque un côté aura une pente positive et un autre côté une pente négative. Cependant, si la canalisation latérale est alimentée par un côté il est nécessaire de savoir si elle se trouve en montée ou en descente puisque cela affecte la pression dans les tuyaux.

Le programme considère, de façon arbitraire, qu'un signe positif correspond à un terrain ascendant dans le sens du parcours de l'eau et inversement. La pente se donne en pourcentage.

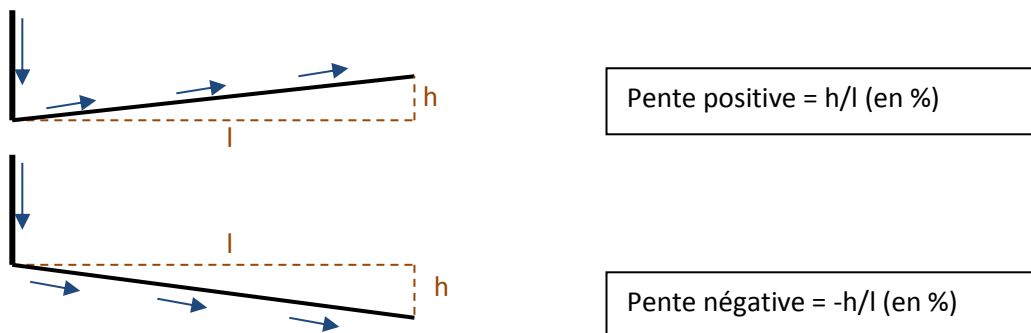


Illustration 3-10: Pente des canalisations latérales

5. DONNÉES DE LA CANALISATION LATÉRALE	
● Pression de travail du tuyau en atm.	<input type="text" value="4"/> <input type="text" value="6"/>
● Épaisseur (mm) <i>Épaisseur par défaut: 2mm</i>	<input type="text" value=""/>
● Diamètre extérieur du tuyau (mm) <i>Diamètre intérieur de 16 mm</i>	<input type="text" value="20"/> <input type="text" value="25"/> <input type="text" value="32"/>
<input type="radio"/> alimentation latérale <input checked="" type="radio"/> alimentation centrale	
● Séparation initial entre la alimentation et le premier goutteur de chaque côté (m)	<input type="text" value="0,5"/>
● Nombre de goutteurs de chaque côté de l'alimentation	<input type="text" value="15"/>
● Séparation entre goutteurs en m <i>Longueur de la canalisation latérale = 2x14,5m = 29m</i>	<input type="text" value="1"/>
● Pente de la canalisation latérale en % <sup>(3)</sup>	<input type="text" value="0,00%"/>

Aperçu du programme 3-6: Propriétés de la canalisation latérale

**Feuille sous unité, cadre 3 (conduites maitresses).**

Les données des conduites maitresses se remplissent de façon similaire à celles des canalisations latérales. A la place des goutteurs, il suffit de considérer les entrées d'alimentation des canalisations latérales.

6. DONNÉES DE LA CONDUITE MAITRESSE	
● Pression de travail du tuyau en atm.	<input type="text" value="4"/> <input type="text" value="6"/>
● Épaisseur (mm) <i>Épaisseur par défaut: 2mm</i>	<input type="text" value="2"/>
● Diamètre extérieur du tuyau (mm) <i>Diamètre intérieur de 21 mm</i>	<input type="text" value="20"/> <input type="text" value="25"/> <input type="text" value="32"/>
<input checked="" type="radio"/> Alimentation latérale <input type="radio"/> Alimentation centrale	
● Séparation initiale entre la alimentation et la première canalisation laterale (m)	<input type="text" value="1"/>
● Nombre de canalisations laterales	<input type="text" value="10"/>
● Separation entre canalisations latérales <i>Longueur de la conduite maitresse = 10.9m</i>	<input type="text" value="1.1"/>
● Pente de la conduite maitresse en% <sup>(4)</sup>	<input type="text" value="0.00%"/>

Aperçu du programme 3-7: Propriétés de la conduite maitresse

**Feuille sous unité 2.**

Cette feuille a pour objectif de vérifier le fonctionnement correct de la sous-unité en se basant sur les dimensions données précédemment et sur deux nouvelles valeurs à introduire sur cette feuille : la pression à l'entrée de la sous- unité et la durée (en nombre d'heures) de l'arrosage.

La pression à l'entrée de la sous- unité va déterminer la pression dans tous les tuyaux de la sous-unité, et donc la pression à laquelle les goutteurs vont travailler. Cette pression doit être suffisamment importante pour qu'aucun goutteur ne travaille en dessous de sa pression nominale. À titre indicatif, la pression minimum à partir de laquelle les goutteurs travaillent au dessus de leur pression nominale est indiquée en italique. N'importe quelle valeur de pression **au dessus** de cette limite est donc valide.

La durée de l'arrosage a un impact direct sur la quantité d'eau apportée aux spéculations. La durée minimum d'arrosage qui garantit que les nécessités en eau vont être couvertes pour toute la sous- unité (zone plus défavorable incluse) est indiquée en italique.

Avec ces données, il faut alors vérifier trois conditions pour pouvoir valider la sous- unité :

- (1) Le long d'une même canalisation latérale, la superposition des zones mouillées doit être supérieure à 10%. Les goutteurs doivent être situés le long de la canalisation latérale de façon à ce que la zone mouillée d'un goutteur se superpose partiellement avec la zone mouillée du suivant. On crée ainsi, dans le sol, une zone mouillée continue, plus propice au bon développement des plantes que des zones humides discontinues. La valeur de 10% est généralement acceptée comme correcte.
- (2) Tous les goutteurs travaillent au dessus de la pression minimum de fonctionnement. Dans la feuille sous- unité, cadre goutteurs, la pression minimale à partir de laquelle les goutteurs travaillent correctement a été définie. Il s'agit de vérifier ici que tous les goutteurs travaillent au dessus de cette pression.
- (3) Même les zones les plus défavorables reçoivent une quantité d'eau suffisante pour couvrir les besoins en eau. Ces besoins sont ceux calculés précédemment dans la feuille culture. On vérifie ici que la durée d'arrosage est suffisante pour garantir l'arrosage suffisant de toutes les plantes.

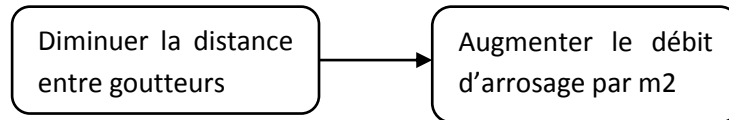
Si la condition est correcte, elle apparait en vert. Dans le cas où l'une de ces trois vérifications n'est pas validée, elle apparait en rouge.

8. PARAMETRES DE CONTROLE DE L'INSTALLATION	
<p>① La superposition des zones humides le long d'une canalisation est supérieure à 10%:</p>	<p><b>INADAPTÉ: la superposition des zones mouillées est de 5.6%.</b></p>
<p>② Tous les goutteurs travaillent avec une pression supérieure à la minimum de fonctionnement:</p>	<p><b>CORRECT: la pression à l'entrées de 0.84mH2O &gt; 0.697 mH2O assure un fonctionnement correct de tous les goutteurs</b></p>
<p>③ Même la zone la moins irriguée reçoit suffisamment d'eau pour couvrir les besoins hydriques de la plante:</p>	<p><b>CORRECT: les 4 heures d'arrosage sont suffisantes</b></p>

Aperçu du programme 3-8: Validation de la sous unité

Si une des conditions n'est pas validée, il faut modifier différents paramètres afin d'obtenir une validation. Les paramètres les plus évidents sont, bien sûr, la pression à l'entrée de la sous-unité et la durée d'arrosage, mais ce ne sont pas les seuls. Le diamètre extérieur du tuyau et son épaisseur, la distance entre goutteurs, la fréquence d'arrosage ou les caractéristiques du goutteurs sont autant de paramètres sur lesquels il est possible de jouer pour modifier le comportement de la sous-unité. Les relations de cause à effet de ces différents paramètres ont été représentées sur le schéma suivant.

**Exemple:**



*“En diminuant la distance entre goutteurs, on peut augmenter le débit d’arrosage par m<sup>2</sup>.”*

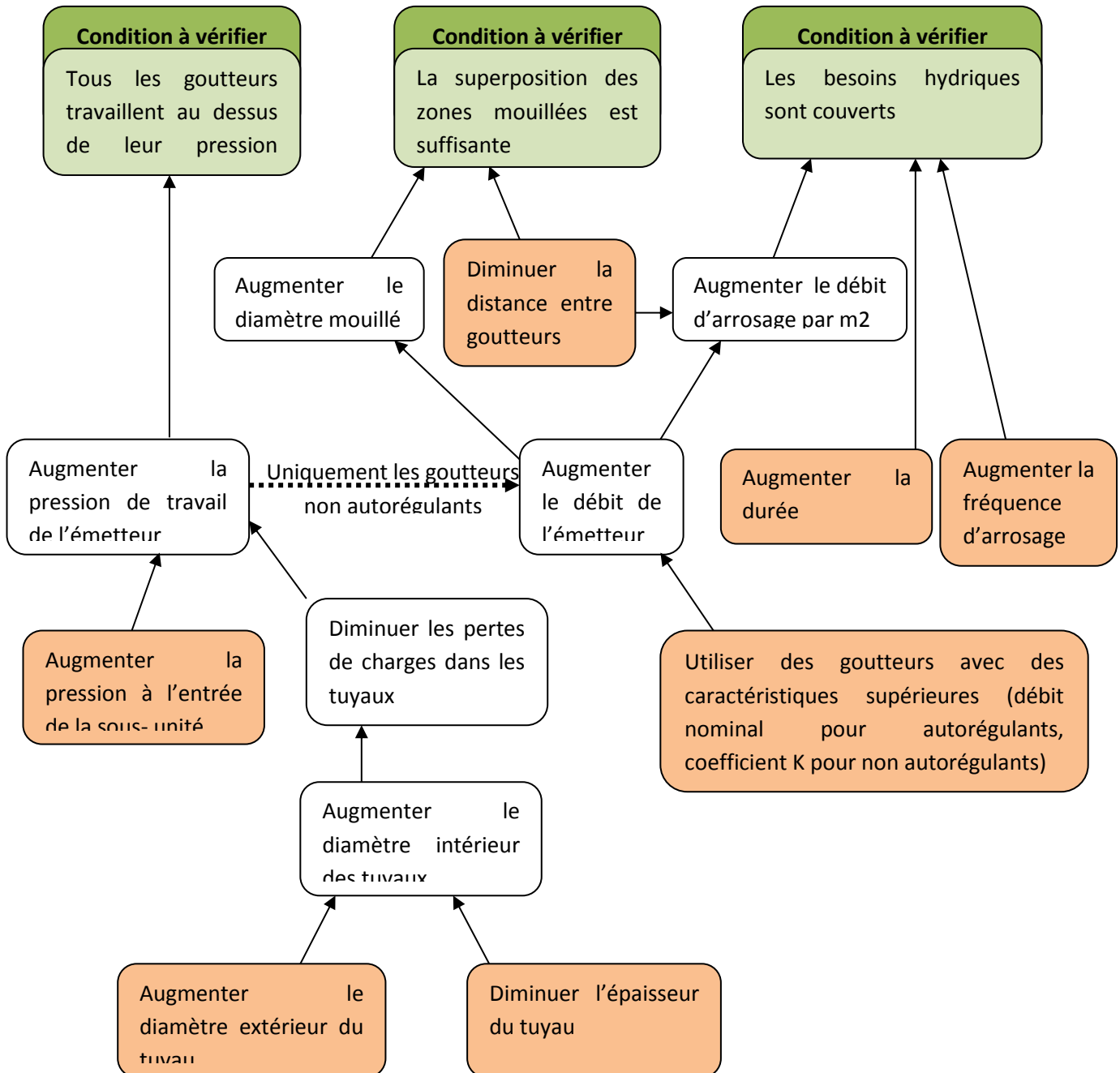
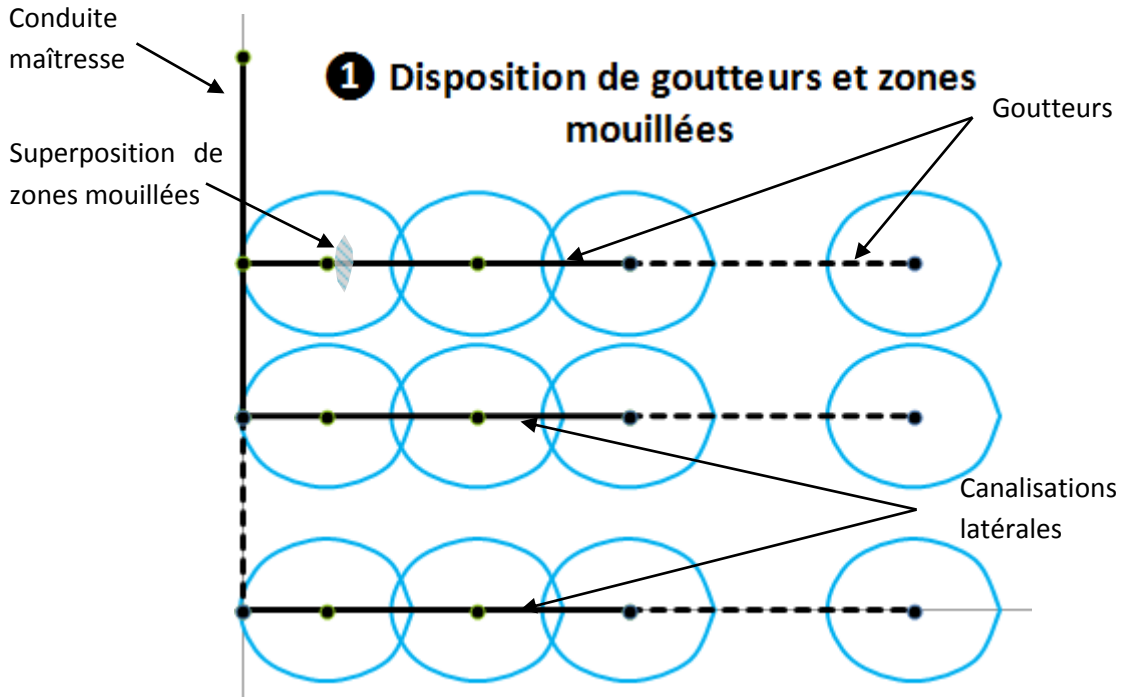


Illustration 3-11: Relations de causes/effets des paramètres de la sous unité

Trois graphiques apportent des informations supplémentaires sur les conditions à remplir. Le premier représente une vue simplifiée d'une partie de la sous-unité avec les goutteurs, les canalisations latérales et les zones mouillées.

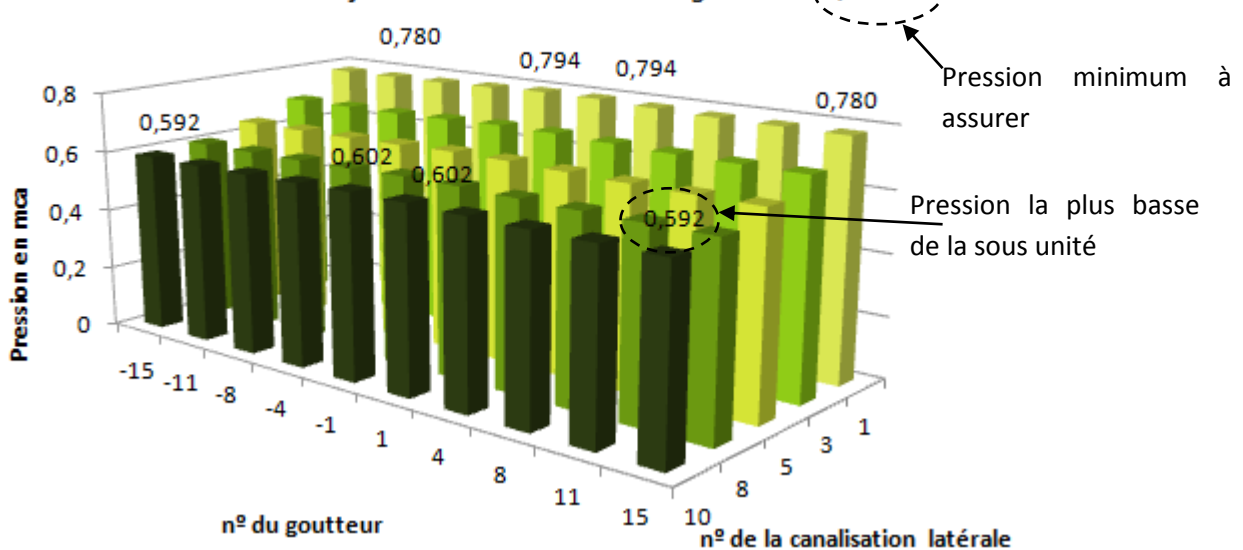


Aperçu du programme 3-9: Disposition des goutteurs et zones mouillées

Le deuxième représente la pression à laquelle travaillent les goutteurs les plus représentatifs. Ainsi, ceux situés au début de chaque canalisation latérale travaillent à une pression plus élevée que ceux situés à l'extrémité. De la même façon, les canalisations latérales les plus proches de l'alimentation de la conduite maîtresse sont ceux qui travaillent à une plus grande pression.

### Répartition de la pression dans les goutteurs de la sous unité

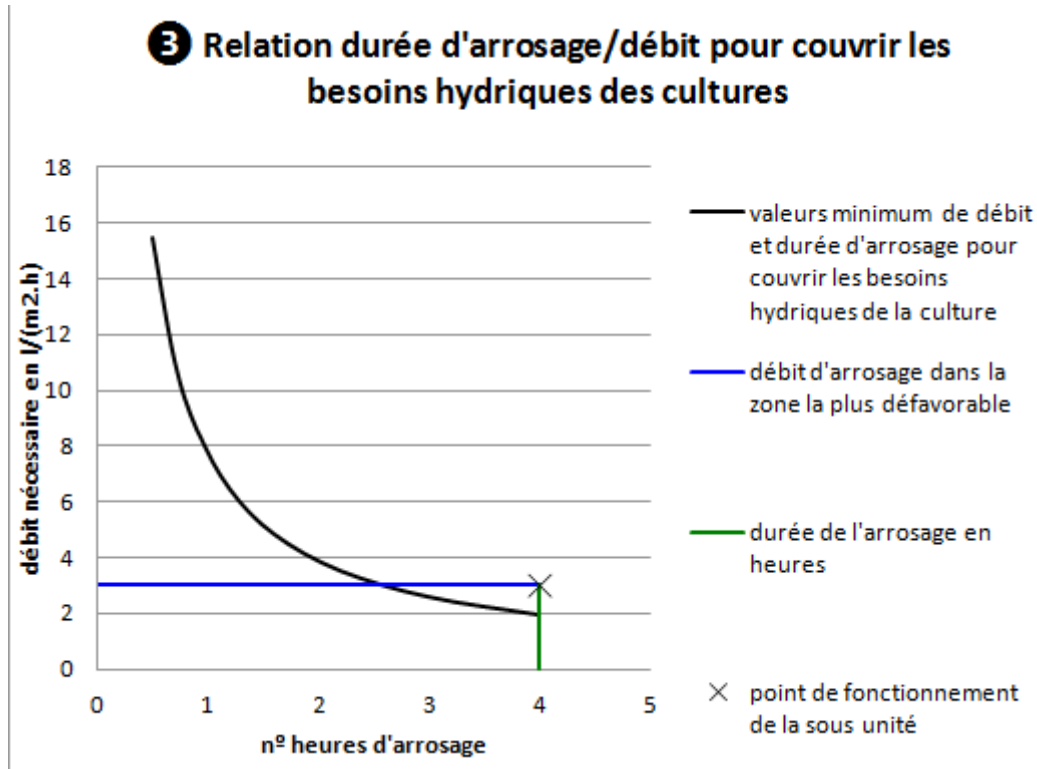
Pression minimum de fonctionnement correct des goutteurs: **0,5mca**



Aperçu du programme 3-10: Répartition de la pression dans les goutteurs



Le troisième graphique représente la relation débit/temps d'arrosage nécessaire pour couvrir les besoins hydriques. Si le débit dans la zone la moins irriguée et la durée d'arrosage sont suffisants, le point correspondant se situe au dessus de la courbe précédente et les besoins hydriques sont couverts. Si le point se situe en dessous de la courbe, l'apport en eau est insuffisant : il faut augmenter la durée d'arrosage ou le débit.



Aperçu du programme 3-11: Durée de débit d'arrosage

Avec les données de la sous- unité, le coefficient d'uniformité réel de la sous- unité est calculé. Cette valeur doit être comparée à celle supposée dans la première feuille (voir Aperçu du programme 3-3: Données du sol) et si besoin, la valeur supposée peut être ajustée.

Enfin, sur cette feuille apparaissent les données à introduire pour chaque sous- unité sur la feuille intitulée 5. RESEAU (voir Illustration 3-2: Interaction entre les différentes feuilles de calculs). Ces données concernent le débit théorique de la sous- unité et la pression à l'entrée. Si des émetteurs non auto-régulants sont utilisés, deux autres coefficients sont donnés. Les coefficients **K** et **x** servent à modéliser le comportement de la sous- unité dans son ensemble en mettant en relation la pression à son entrée et le débit absorbé sous la forme d'une équation du type  $Q = KH^x$ .

### 3.3.3. Exemple détaillé : N'Diokouti

#### **Goutteurs :**

Le système proposé pour N'Diokouti n'utilise pas les goutteurs traditionnels. À la place, on va utiliser des micro-tubes. Leur courbe de fonctionnement est similaire à celle des goutteurs non auto régulants, mais ils sont beaucoup moins chers et plus versatiles que ceux-ci. De plus, leur pression minimum de fonctionnement est beaucoup plus basse.

Dans le cadre goutteurs, on commence par cocher l'option « goutteurs non auto régulants ». Les micro-tubes qui vont être utilisés ont un coefficient **K** de 4,294 et un exposant **x** de 0,688. Ces valeurs doivent être introduites dans les cases en jaune après avoir choisi l'option « goutteurs avec coefficients personnalisés ».

Le coefficient de variation estimé est de 0,05.

Les pertes de charges générées par la connexion de ces goutteurs sont similaires à celles des goutteurs externes, l'option « goutteurs externes » est donc choisie.

Pour finir, les micro-tubes travaillent correctement à partir d'une pression de 0,5 mH<sub>2</sub>O.

### ***Canalisations latérales et conduite maîtresse :***

Deux types de sous-unités ont été définis précédemment. Il faut dimensionner chaque sous-unité indépendamment.

#### ***Sous-unité type A :***

Les dimensions approximatives de la sous-unité sont de 14 m x 21 m. La configuration qui va être utilisée est celle d'une conduite maîtresse alimentée par le côté, et qui alimente les canalisations latérales par le centre. La longueur de la conduite maîtresse doit être de près de 14 m et la longueur des canalisations latérales (en comptant les deux côtés) proche de 21 m.

#### **1<sup>er</sup> essai de dimensionnement.**

Les tuyaux choisis pour les canalisations latérales ont un diamètre extérieur de 20 mm et un diamètre intérieur de 16 mm (épaisseur standard pour une pression de 4 atm). Le tuyau choisi pour la conduite maîtresse a un diamètre extérieur de 25 mm et un diamètre intérieur de 21 mm.

On décide d'installer un micro-tube (ou goutteur) chaque mètre le long de la canalisation latérale avec une séparation initiale entre les premiers goutteurs et l'alimentation de 0,5 m. De même, on fixe la séparation entre canalisations latérales à 1 m. Avec 14 canalisations latérales et une séparation initiale de 1 m, la longueur totale de la conduite maîtresse est de 14 m. Avec 11 goutteurs sur chaque côté d'une canalisation latérale, la longueur totale d'une canalisation latérale est de 21 m.

La pente est considérée comme nulle dans les deux sens.

Dans la feuille sous-unité2, il faut maintenant vérifier si la configuration choisie est valide.

Il faut d'abord choisir la pression à l'entrée de la sous-unité. La pression minimum qui assure que tous les goutteurs travaillent au dessus de leur pression nominale est de 0,775 mH<sub>2</sub>O. On choisit donc une pression de 0,78 mH<sub>2</sub>O.

Il faut également choisir une durée d'arrosage. La valeur minimum conseillée est 2,91, la durée choisie est de 3 heures

Le coefficient d'uniformité obtenu pour cette configuration vaut 0,84. Il est inférieur au coefficient supposé entré dans la feuille CULTURE, il faut donc modifier celui-ci pour qu'il soit davantage en accord avec la configuration choisie.

**Validation :**

Une des trois conditions à remplir n'est pas satisfaite : le programme indique que la superposition des aires mouillées est insuffisante. Il faut donc modifier un ou plusieurs paramètres.

**Modification du dimensionnement :**

Pour pouvoir remplir la condition antérieure, on rapproche les goutteurs en les espaçant de 0,9 m seulement, avec la séparation initiale qui reste de 0,5 m. Avec 12 goutteurs par côté, la longueur totale de la canalisation latérale est de 20,8 m. Le reste des paramètres reste similaire.

**Validation :**

La pression minimum qui assure que tous les goutteurs travaillent au dessus de leur pression nominale est de 0,839 mH<sub>2</sub>O. On choisit donc une pression de 0,84 mH<sub>2</sub>O.

Il faut également choisir une durée d'arrosage. La valeur minimum conseillée est 2,84, la durée choisie est de 3 heures

Le coefficient d'uniformité obtenu pour cette configuration vaut 0,82. Il est inférieur au coefficient supposé entré dans la feuille CULTURE, il faut donc modifier celui-ci pour qu'il soit en accord avec la configuration choisie.

Avec ces modifications, les trois conditions à remplir sont correctes.

Les données caractéristiques de la sous- unité sont les suivantes :

Pression à l'entrée de la sous- unité :	0,84 mH <sub>2</sub> O
Débit absorbé par la sous- unité :	1,012 m <sup>3</sup> /h
Coefficient K de modélisation de la sous- unité (Q en l/h et H en mH <sub>2</sub> O) :	1230,9
Exposant x de modélisation de la sous- unité (Q en l/h et H en mH <sub>2</sub> O) :	0,648

**Cadre 3-8: Valeurs caractéristiques de la sous unité type A**

***Sous-unité type B :***

Pour les sous- unités de type B, on utilise des valeurs similaires au type A, mais avec un nombre réduit de canalisations latérales et un nombre supérieur de goutteurs (ou microtubes) par canalisation.

Les tuyaux choisis pour les canalisations latérales ont donc un diamètre extérieur de 20 mm et un diamètre intérieur de 16 mm (épaisseur standard pour une pression de 4 atm). Le tuyau choisi pour la conduite maîtresse a un diamètre extérieur de 25 et un diamètre intérieur de 21 mm.

On installe un microtube chaque 0,9 mètre le long de la canalisation latérale avec une séparation initiale entre les premiers goutteurs et l'alimentation de 0,5 m. De la même façon, la séparation entre canalisations latérales est fixée à 1 m. Avec 10 canalisations latérales et une séparation initiale de 1 m, la longueur totale de la conduite maîtresse est de 10 m. Avec 15 goutteurs sur chaque côté d'une canalisation latérale, la longueur totale d'une canalisation latérale est de 26,2 m.

La pente est considérée comme nulle dans les deux sens.

**Validation:**

Il faut d'abord choisir la pression à l'entrée de la sous- unité. La pression minimum qui assure que tous les goutteurs travaillent au dessus de leur pression nominale est de 0,68 mH<sub>2</sub>O. On choisit donc une pression de 0,7 mH<sub>2</sub>O.

Il faut également choisir une durée d'arrosage. La valeur minimum conseillée est 2,58, la durée choisie est de 3 heures

Le coefficient d'uniformité obtenu pour cette configuration vaut 0,87. Il est supérieur au coefficient entré précédemment, il faut donc modifier celui-ci pour qu'il soit plus en accord avec la configuration choisie.

Les trois conditions à remplir sont correctes.

Les données caractéristiques de la sous- unité sont les suivantes :

Pression à l'entrée de la sous- unité :	0,7 mH <sub>2</sub> O
Débit absorbé par la sous- unité :	0,872 m <sup>3</sup> /h
Coefficient K de modélisation de la sous unité (Q en l/h et H en mH <sub>2</sub> O) :	1163,7
Exposant x de modélisation de la sous unité (Q en l/h et H en mH <sub>2</sub> O) :	0,6603

Cadre 3-9: Valeurs caractéristiques de la sous unité type B

**Résumé des caractéristiques des sous unités :**

	Type A	Type B
<b>CANALISATION LATÉRALE</b>	Alimentation centrale	Alimentation centrale
<b>Diamètre extérieur</b>	20 mm	20 mm
<b>Épaisseur</b>	2 mm	2 mm
<b>Diamètre intérieur</b>	16 mm	16 mm
<b>N° de micro-tubes par canalisations latérales</b>	2 x 12	2 x 15
<b>Distance entre microtubes</b>	0,9 m	0,9 m
<b>Séparation initiale</b>	0,5 m	0,5 m
<b>Longueur canalisation latérale</b>	2 x 10,4 = 20,8m	2 x 13,1 = 26,2m

Cadre 3-10: Caractéristiques des canalisations latérales

	Type A	Type B
<b>CONDUITE MAITRESSE</b>	Alimentation latérale	Alimentation latérale
<b>Diamètre extérieur</b>	25 mm	25 mm
<b>Épaisseur</b>	2 mm	2 mm
<b>Diamètre intérieur</b>	21 mm	21 mm
<b>N° de canalisations latérales</b>	14	10
<b>Distance entre canalisations latérales</b>	1 m	1 m
<b>Séparation initiale</b>	1 m	1 m
<b>Longueur conduite maitresse</b>	14 m	10 m

Cadre 3-11: Caractéristiques des conduites maitresses

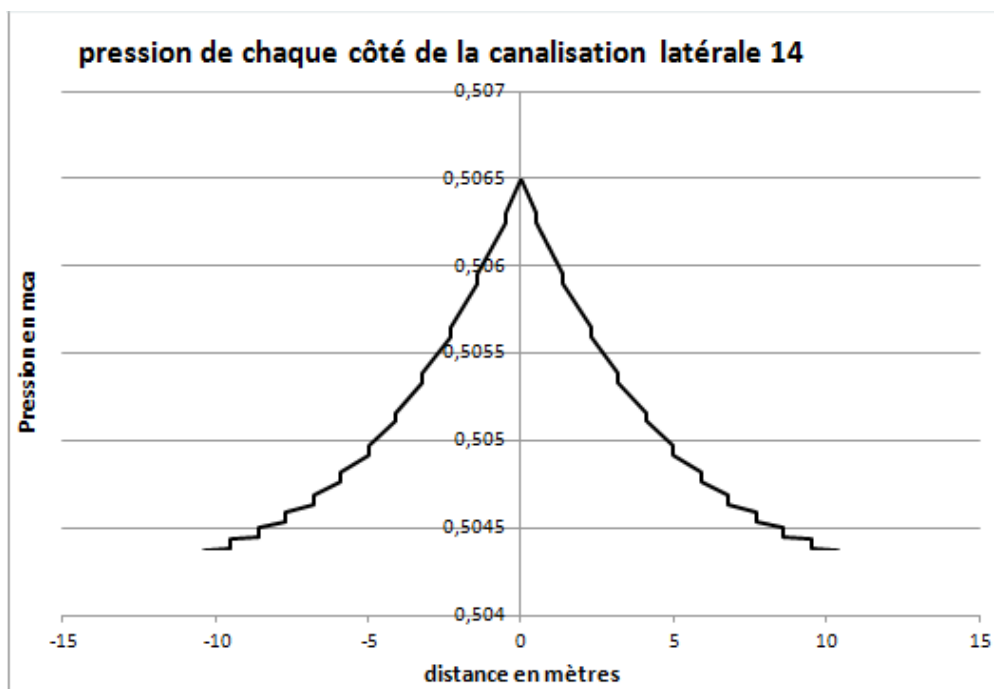
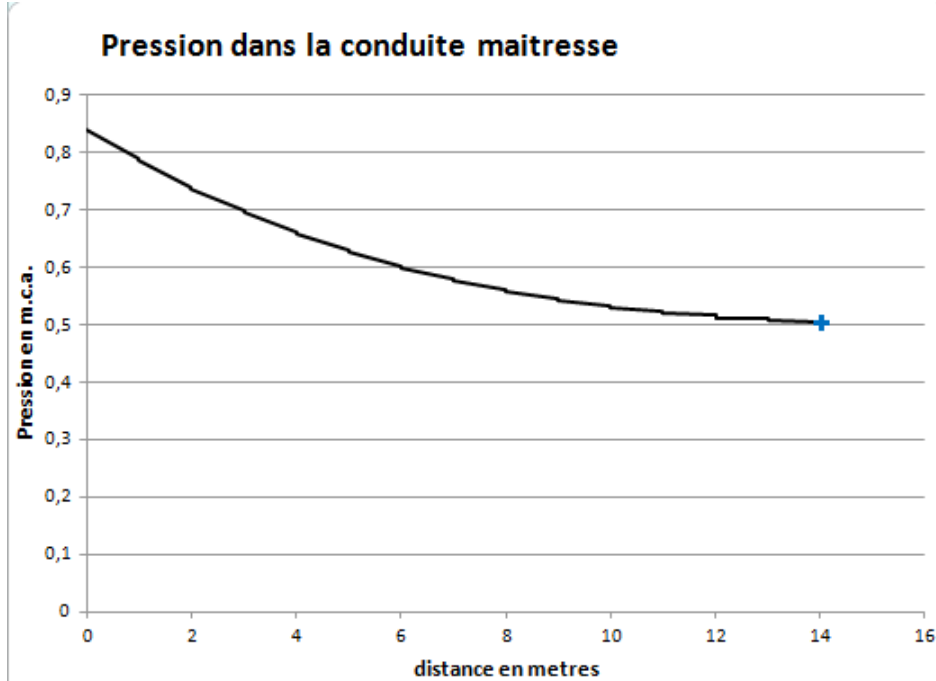
### 3.4. Feuille 4. GRAPHIQUES

Sur cette feuille, on représente la répartition de la pression dans la conduite maitresse et dans la canalisation latérale sélectionnée dans la feuille antérieure. Une croix marque le point de connexion de la canalisation latérale choisie à la conduite maitresse.

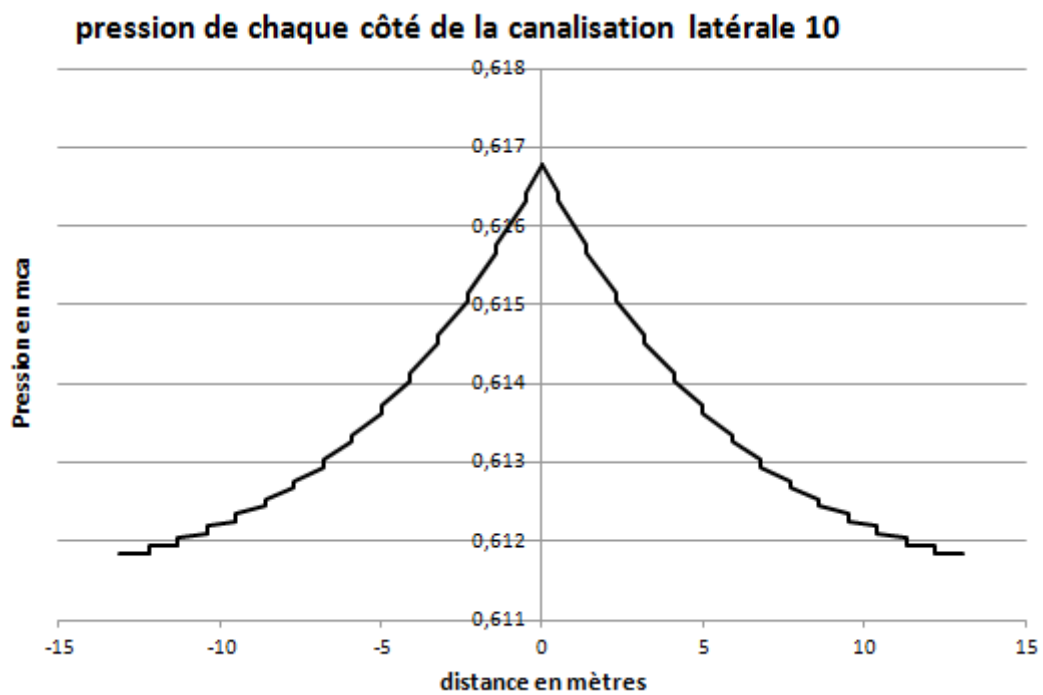
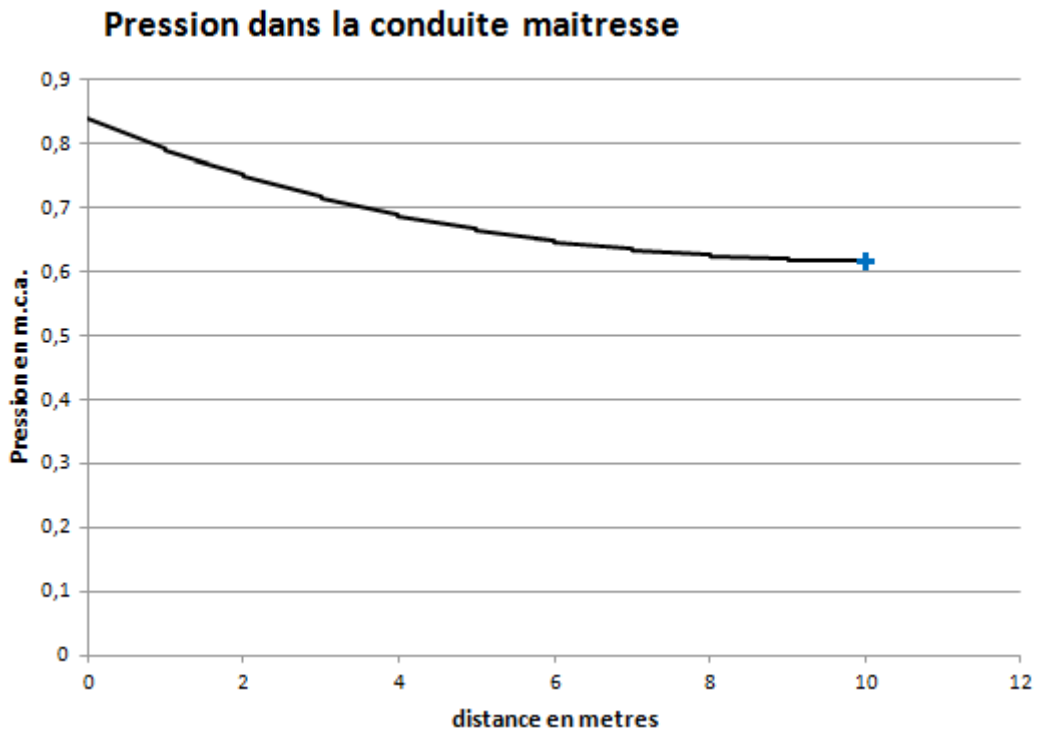
#### 3.4.1. Exemple détaillé : N'Diokouti

Sur les graphiques suivants, on peut voir la répartition de la pression le long de la conduite maitresse et de la dernière canalisation latérale (la n°14 pour les sous unités type A et la n° 10 pour les sous- unités type B).

*Sous unité type A :*



**Sous unité type B:**



On peut observer, qu'à tout moment, la pression dans les canalisations est supérieure à 0,5 mH<sub>2</sub>O, pression à partir de laquelle les goutteurs fonctionnent correctement. On vérifie donc ici cette condition de fonctionnement.

## 4. Réseau d'arrosage

### 4.1.1. Explication du processus de calcul

Une fois que toutes les sous- unités sont dimensionnées, il faut dimensionner le reste du réseau et du système d'arrosage, c'est-à-dire les principaux tuyaux d'alimentation, et la pompe.

Le dimensionnement dépend bien évidemment des sous- unités dimensionnées précédemment. Cependant, dans cette partie, le détail des sous- unités (longueurs, diamètres, etc... ) n'est pas important. On considère chaque sous- unité comme une boîte noire dont les caractéristiques internes n'ont pas d'importance. La partie importante, pour dimensionner le reste du réseau, est le comportement hydraulique de la sous- unité dans son ensemble, c'est-à-dire le débit qu'elle absorbe selon la valeur de la pression à son entrée. Si les goutteurs utilisés sont auto-régulants, le débit absorbé est indépendant de la pression. Par-contre, une sous- unité avec des goutteurs non auto-régulants absorbe un débit différent selon la pression à l'entrée.

Il est démontré que , dans ce cas, l'équation qui relie pression à l'entrée de la sous unité et débit absorbé est de la forme  $Q = KH^x$ , qui rappelle celle des goutteurs mais avec bien évidemment des coefficients différents.

### 4.2. Feuille 5. RESEAU CONFIGURE

Les sous-unités peuvent être connectées entre elles et alimentées selon n'importe quel schéma. Le dimensionnement est alors difficile. Dans cette feuille, le dimensionnement proposé concerne uniquement deux configurations, qui sont les plus typiques. Dans la configuration (1), les sous- unités sont alimentées une par une par la conduite principale. Dans la configuration (2), les ramifications sont doubles et les sous-unités sont alimentées de deux en deux.

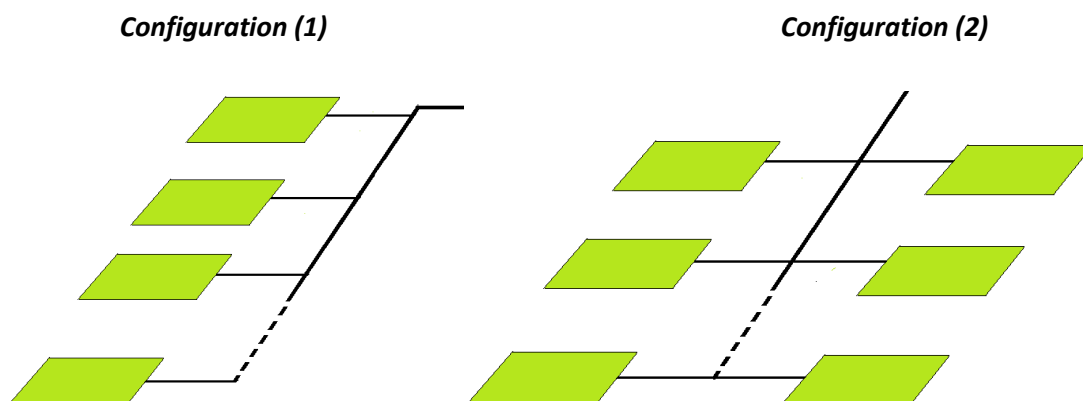


Illustration 4-1: Configurations du système d'arrosage

#### 4.2.1. Entrée des données pour le dimensionnement

Les étapes à suivre pour un dimensionnement correct des sous-unités sont les suivantes :

- (1) Choisir le type de configuration qui va être utilisé et marquer l'option correspondante configuration 1 ou configuration 2.
- (2) Numéroté les sous-unités, en assignant le numéro 1 à la sous-unité la plus proche de l'alimentation et en augmentant les numéros à mesure que l'on s'éloigne le long de la conduite principale.
- (3) Renseigner le type de goutteur utilisé dans chaque sous-unité (en sélectionnant une des options entre « goutteur auto-régulant » et « goutteur non auto-régulant »), la pression nécessaire à l'entrée de la sous-unité, le débit prévu, et, dans le cas de goutteurs non auto-régulants, les coefficients **K** et **x** de modélisation de la sous-unité. Toutes ces données ont été calculées précédemment pour chaque sous-unité (cadre vert bleu de la feuille « sous unité 2 »).
- (4) Compléter les valeurs des longueurs des tuyaux d'alimentation. Pour chaque sous-unité, deux longueurs sont demandées : celle du tuyau qui alimente la sous-unité (sur le schéma : la longueur **L1** pour la sous-unité 1, etc.) et celle du tronçon de la conduite principale qui alimente cette déviation (longueur **L1'** pour la sous-unité 1). Dans le cas de la configuration 2, un tronçon de la conduite principale alimente deux déviations à la fois. De ce fait, les longueurs de la conduite principale doivent être introduites uniquement pour les sous-unités avec un numéro impair (voir Illustration 4-2 et Illustration 4-3).
- (5) Compléter les valeurs des côtes de différents points du système : l'entrée de chaque sous-unité (valeur **Z1** pour la sous-unité 1, etc.) et la connexion de chaque tuyau d'alimentation à la conduite principale (valeur **Z1'**). Pour les mêmes raisons que précédemment, dans le cas de la configuration 2, seules les côtes **Zn'** des sous-unités avec numéro impair doivent être remplies.

**Note :** le point choisi comme référence pour les côtes n'a pas d'importance tant que toutes les côtes sont référencées à ce même point.



**Configuration (1) :**

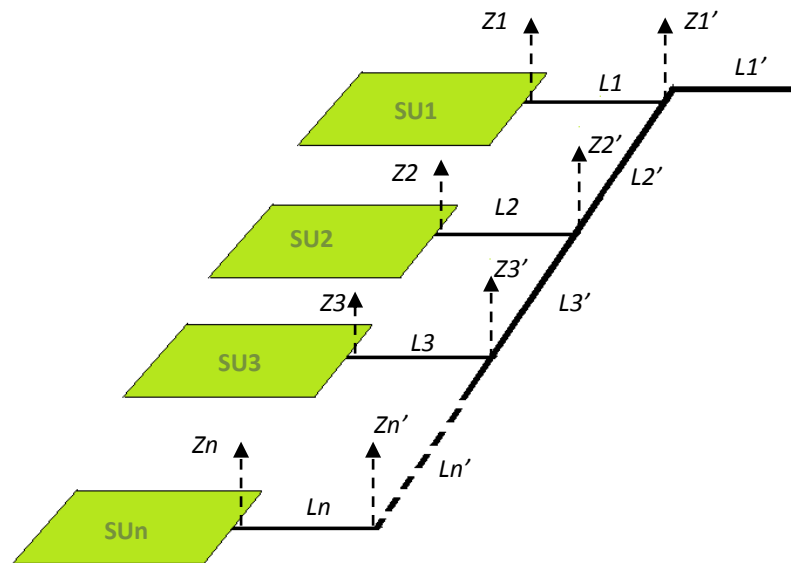


Illustration 4-2: Configuration (1) du réseau

**Configuration (2) :**

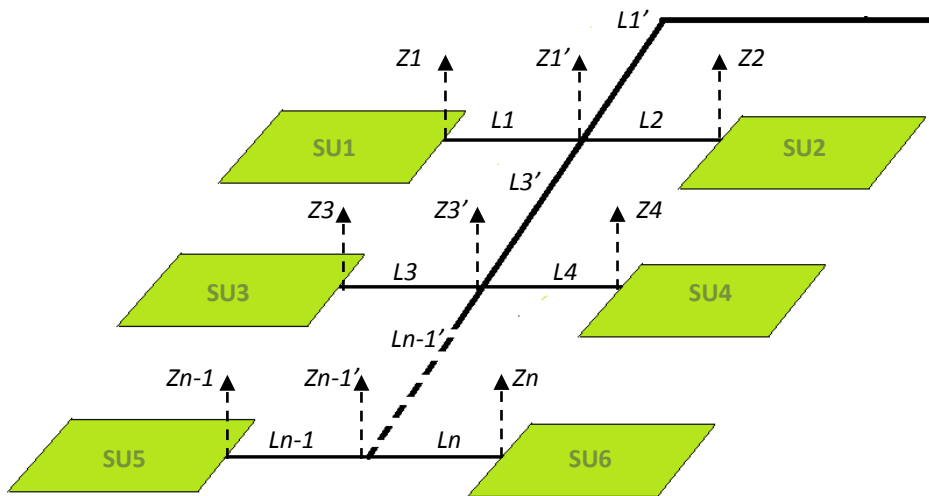


Illustration 4-3: Configuration (2) du réseau

Le dimensionnement réalisé à partir de ces données se fait en se basant sur un critère économique.

**!** La méthode utilisée permet de dimensionner uniquement les tuyaux qui correspondent au « chemin critique », c'est-à-dire au trajet qui génère les plus grandes pertes de charge du au frottement de l'eau dans les tuyaux. De façon générale, le chemin critique correspond au chemin le plus long, et permet de dimensionner tous les tuyaux. Cependant, il est possible que certains tuyaux ne soient pas dimensionnés.

Les valeurs des diamètres proposées à partir du dimensionnement réalisé apparaissent dans deux colonnes en bleu à droite de la feuille. La colonne d'à coté permet d'introduire la valeur définitive du diamètre. Cette valeur sera celle utilisée ensuite, lors de la création d'un modèle utilisable sous EPANET. Par défaut, si une valeur est proposée et la case de la valeur définitive est laissée vide, la valeur proposée sera utilisée. Si une valeur est proposée et qu'on introduit une valeur dans la case définitive, c'est cette dernière qui sera utilisée. S' il n'y a pas de valeurs proposées et que la case définitive est laissée libre, une valeur de 50 mm est assignée par défaut.

Diamètre conseillé tuyau d'alimentation [mm]	Diamètre choisi tuyau d'alimentation [mm]	Diamètre conseillé conduite principale [mm]	Diamètre choisi conduite principal [mm]
21		55.4	
21		44	
28		44	35.2

Aperçu du programme 4-1: Diamètres conseillés et choisis

Les diamètres proposés correspondent au diamètre intérieur de canalisation avec des dimensions standardisées :

Diamètre intérieur [mm]	Diamètre extérieur [mm]	Épaisseur [mm]
16	20	2
21	25	2
28	32	2
35,2	40	2,4
44	50	3
55,4	63	3,8
66	75	4,5
79,2	90	5,4

Cadre 4-1: Diamètres standardisés

Dans le cadre de droite, des données supplémentaires sont demandées. Elles ne concernent pas le dimensionnement des diamètres, mais facilitent le dimensionnement de la pompe. Les valeurs données sont également utilisées lors de la création d'un modèle exportable à EPANET (dernière feuille). Elles concernent :

- Les côtes de différents points du circuit, nécessaires pour le calcul de la pression de pompage
- Les diamètres des tuyaux d'alimentation de la pompe et d'accès au réservoir.

Les différents paramètres demandés ont été schématisés sur l'illustration 4-4.

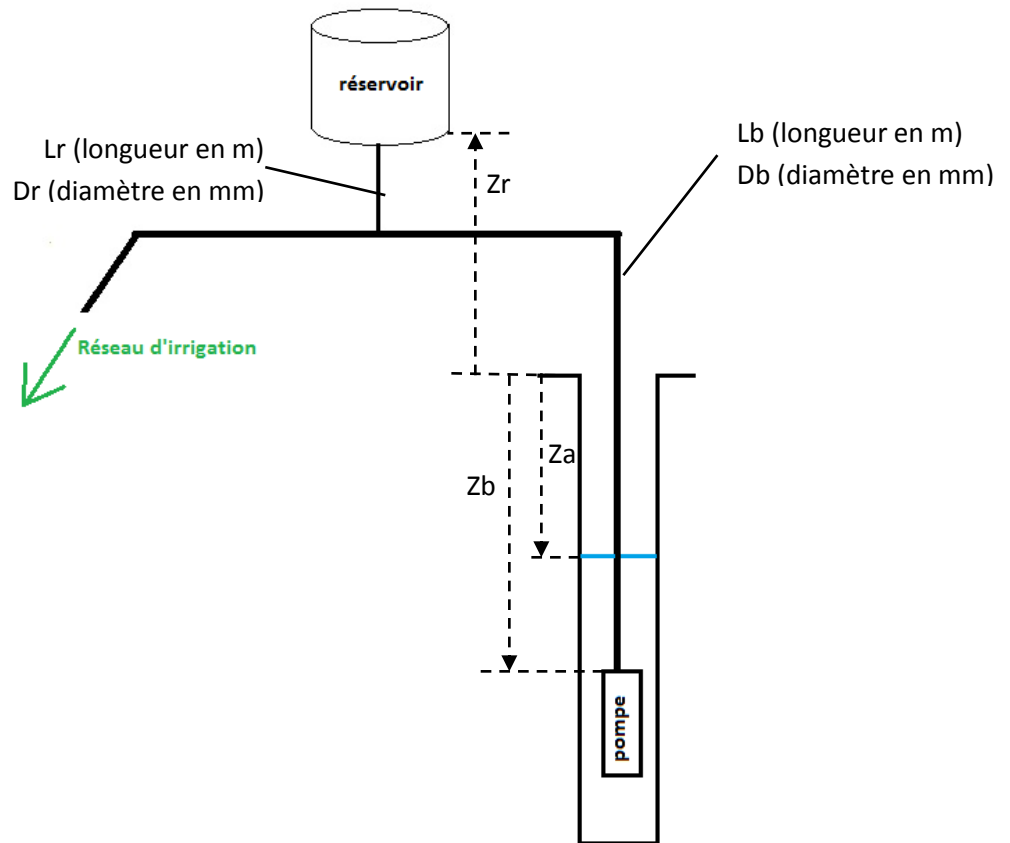


Illustration 4-4: Paramètres du réseau

Cette feuille fournit également deux renseignements utiles : Les valeurs du débit et de la pression à fournir par la pompe. Ces données sont importantes pour le choix de la pompe (feuille pompe).

#### 4.2.2. Exemple détaillé : N'Diokouti

Dans le cas de N'Diokouti, pour réaliser le dimensionnement, on scinde l'étude en deux zones: La zone Est et la zone Ouest. La zone **Ouest** contient six sous-unités de type A, alimentées de deux en deux par la canalisation principale. La zone **est** contient trois sous- unités de type A et deux de type B, alimentées une par une.

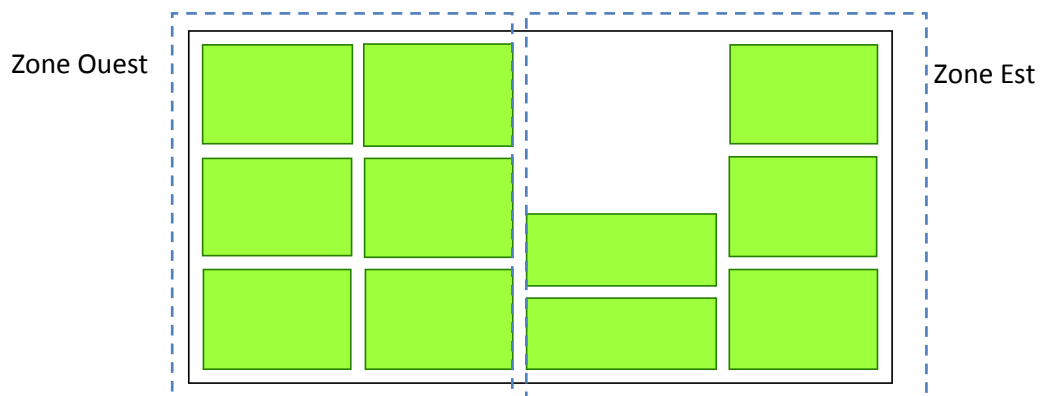


Illustration 4-5: Séparation de la parcelle en deux zones

**Zone Ouest :**

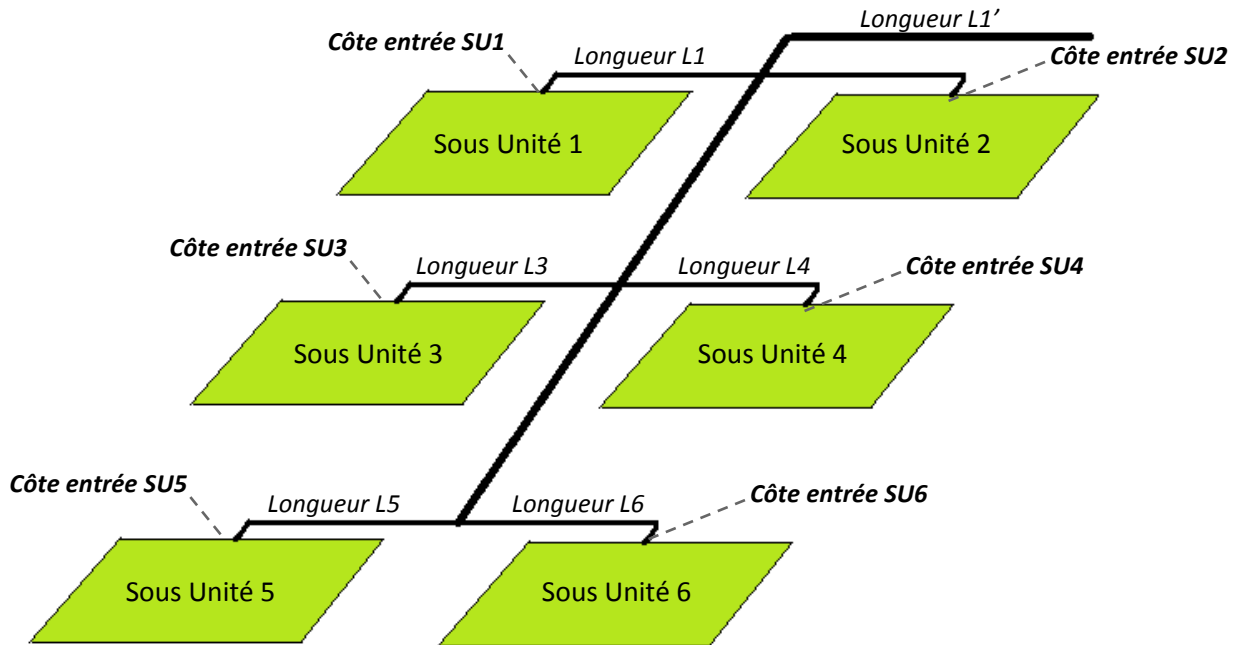


Illustration 4-6: Zone Ouest

Les paramètres d'entrée de la feuille sont les suivants :

N° sous unité	Type de goutteur	Pression nécessaire à l'entrée de la sous unité*	Uniquement pour les goutteurs non auto compensant:		Débit prévu en [m <sup>3</sup> /h]*
			Coefficient K de la sous unité*	exposant x de la sous unité*	
1	Non AR	0,85 mH <sub>2</sub> O	1230,9	0,648	1,02
2	Non AR	0,85 mH <sub>2</sub> O	1230,9	0,648	1,02
3	Non AR	0,85 mH <sub>2</sub> O	1230,9	0,648	1,02
4	Non AR	0,85 mH <sub>2</sub> O	1230,9	0,648	1,02
5	Non AR	0,85 mH <sub>2</sub> O	1230,9	0,648	1,02
6	Non AR	0,85 mH <sub>2</sub> O	1230,9	0,648	1,02

\*voir Cadre 3-8: Valeurs caractéristiques de la sous unité type A

N° sous unité	Cote entrée de la sous unité Zn [m]	Longueur tuyau d'alimentation Ln [m]	Cote de la conexion de la dérivation [m]	Longueur du tronçon de la conduite principale [m]
1	0	12	0	37
2	0	12	-	-
3	0	12	0	16
4	0	12	-	-
5	0	12	0	16
6	0	12	-	-

Cadre 4-2: Données d'entrée zone ouest

Les diamètres obtenus sont les suivants :

N° sous unité	Diamètre conseillé tuyau d'alimentation	Diamètre extérieur correspondant	Diamètre conseillé conduite principale	Diamètre extérieur correspondant
1	21 mm	25 mm	55,4 mm	63 mm
2	21 mm	25 mm	-	-
3	28 mm	32 mm	44 mm	50 mm
4	28 mm	32 mm	-	-
5	28 mm	32 mm	35,2 mm	40 mm
6	28 mm	32 mm	-	-

Cadre 4-3: Diamètres obtenus zone Ouest

Les données pour le modèle EPANET sont les suivantes :

Longueur du tuyau d'alimentation de la pompe Lb	2 m
Diamètre du tuyau d'alimentation de la pompe Dp	100 mm
Longueur du tuyau d'alimentation du réservoir Lr	5 m
Diamètre du tuyau d'alimentation du réservoir Dr	100 mm
Niveau statique de l'eau za	-16 m
Côte de la pompe zb	-18 m
Côte du réservoir zr	1,5 m
Diamètre du réservoir	2 m
Hauteur du réservoir	3 m

Cadre 4-4: Données pour EPANET zone ouest

Les données pour le choix de la pompe sont les suivantes :

Débit total à fournir :	6,12 m <sup>3</sup> /h
Pression de pompage nécessaire :	≈ 20 m

Cadre 4-5: Données de la pompe pour la zone Ouest

### Zone Est :

La zone est se compose de trois sous- unités type A et deux sous- unités type B

Les paramètres d'entrée de la feuille sont les suivants :

N° sous unité	Type de goutteur	Pression nécessaire à l'entrée de la sous unité*	Uniquement pour les goutteurs non auto compensant:		Débit prévu en [m <sup>3</sup> /h]*
			Coefficient K de la sous unité*	exposant x de la sous unité*	
1	Non AR	0,85 mH <sub>2</sub> O	1230,9	0,648	1,02
2	Non AR	0,85 mH <sub>2</sub> O	1230,9	0,648	1,02
3	Non AR	0,70mH <sub>2</sub> O	1163,7	0,6603	0,872
4	Non AR	0,85 mH <sub>2</sub> O	1230,9	0,648	1,02
5	Non AR	0,70 mH <sub>2</sub> O	1163,7	0,6603	0,872

\*Voir Cadre 3-8: Valeurs caractéristiques de la sous unité type A et Cadre 3-9: Valeurs caractéristiques de la sous unité type B

N° sous unité	Cote entrée de la sous unité Zn [m]	Longueur tuyau d'alimentation Ln [m]	Cote de la conexión de la dérivation [m]	Longueur du tronçon de la conduite principale [m]
1	0	13	0	40
2	0	13	0	16
3	0	16	0	8
4	0	13	0	8
5	0	16	0	4

Les diamètres obtenus sont les suivants :

N° sous unité	Diamètre conseillé tuyau d'alimentation	Diamètre extérieur correspondant	Diamètre conseillé conduite principale	Diamètre extérieur correspondant
1	21 mm	25 mm	44 mm	50 mm
2	28 mm	32 mm	44 mm	50 mm
3	28 mm	32 mm	44 mm	50 mm
4	28 mm	32 mm	35,2 mm	40 mm
5	28 mm	32 mm	35.2 mm	40 mm

Les données pour le modèle EPANET sont les mêmes que dans le cas de la zone ouest (voir Cadre 4-4: Données pour EPANET zone ouest).

Les données pour le choix de la pompe sont les suivantes :

<b>Débit total à fournir :</b>	5,1 m <sup>3</sup> /h
<b>Pression de pompage nécessaire :</b>	≈ 20 m

Cadre 4-6: Données de la pompe pour la zone Est

### 4.3. Feuille 6. POMPE

L'objectif de cette feuille est de permettre de choisir une pompe adéquate pour le système d'arrosage. Les données à fournir sont le débit et la hauteur de pompage au point de fonctionnement déterminé auparavant dans la feuille 5.RESEAU (voir Illustration 3-2: Interaction entre les différentes feuilles de calculs). Ce point de fonctionnement marque les caractéristiques minimales que doit pouvoir assurer la pompe.

Pour s'assurer que la pompe choisie vérifie ces caractéristiques minimales, on utilise une méthode graphique en représentant sur un graphique pression/débit le point de fonctionnement souhaité et la courbe caractéristique de la pompe. Le choix de la pompe est correct si la courbe de la pompe se situe **au dessus** du point de fonctionnement ce qui signifie que les prestations de la pompe sont supérieures à celles demandées.

**Exemple:**

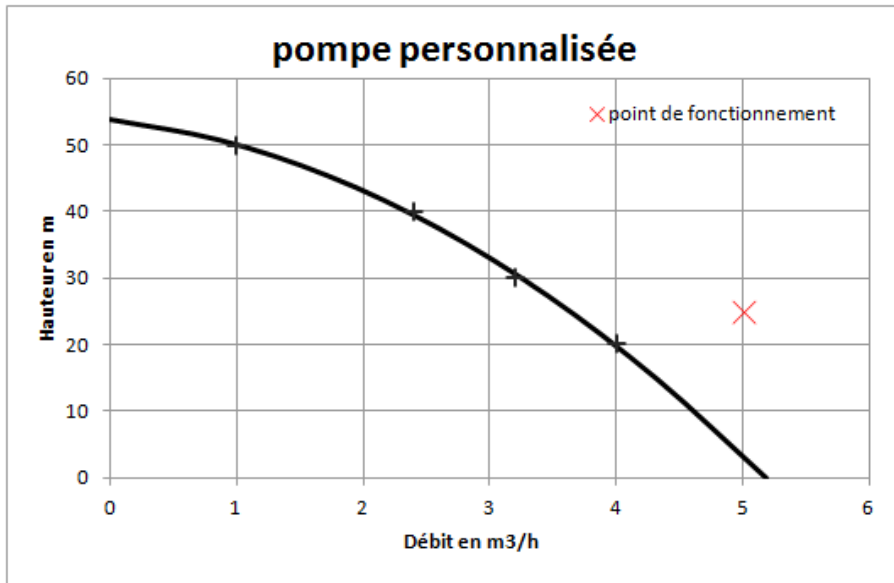


Illustration 4-7: Choix de pompe incorrect

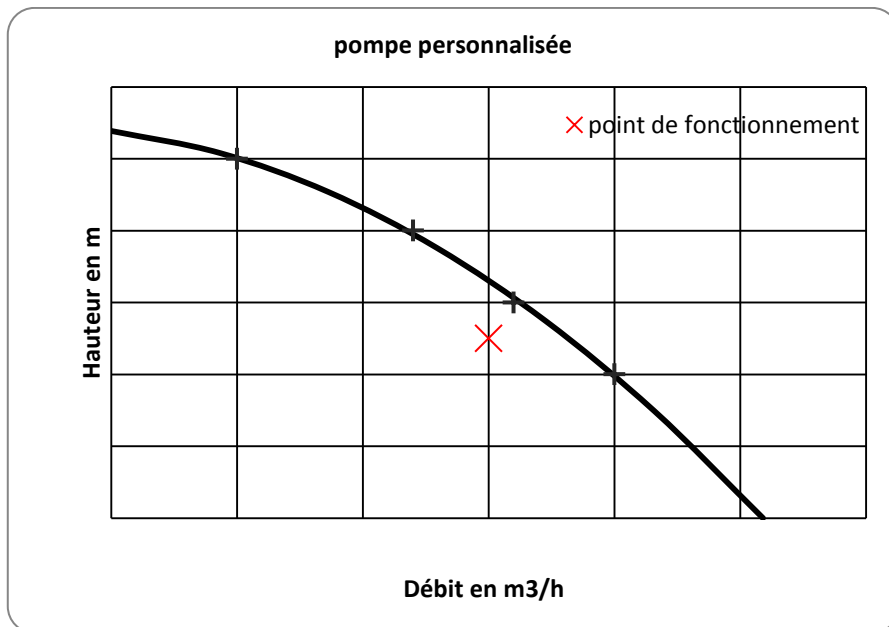


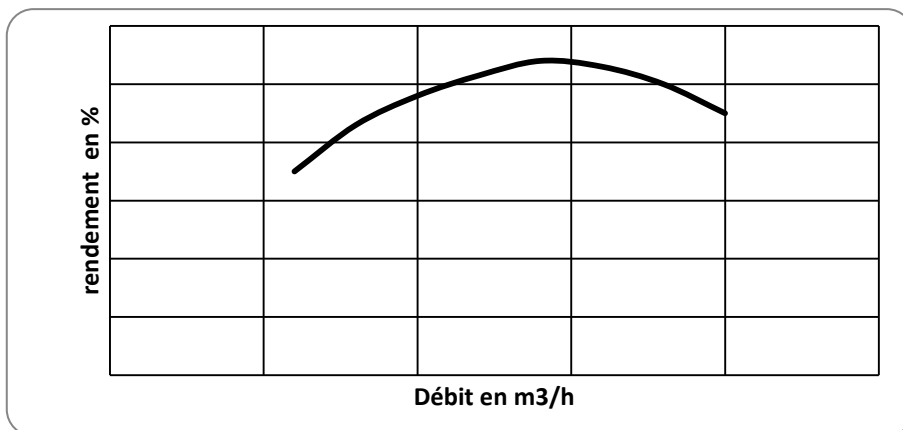
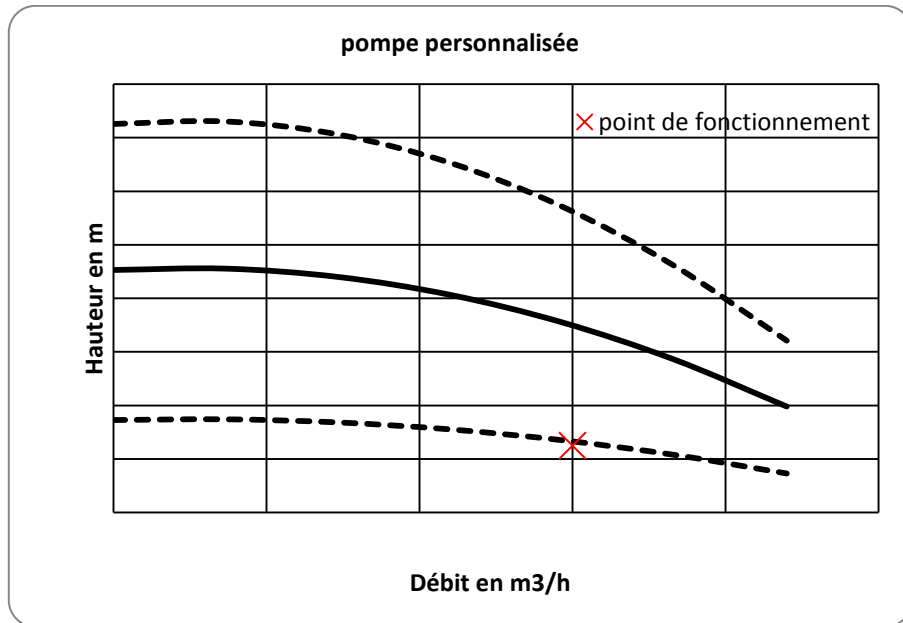
Illustration 4-8: Choix de la pompe correct

**4.3.1. Entrée des données**

Pour rentrer la courbe de la pompe, il faut choisir une option parmi trois :

- (1) La courbe caractéristique de la pompe peut généralement être modélisée par une équation quadratique de la forme  $H[m]=A+B.Q[m^3/h]+C.Q[m^3/h]^2$ .  $H$  hauteur de pompage,  $Q$  débit de la pompe et  $A$ ,  $B$  et  $C$  trois coefficients caractéristiques de l'équation de la pompe. Avec l'option **entrer les coefficients de l'équation**, les paramètres demandés sont les coefficients  $A$ ,  $B$  et  $C$  qui permettent de définir l'équation.

- (2) Sélectionner l'option « choisir une pompe enregistrée ». Les pompes qui apparaissent dans le menu dépliant sont issues du catalogue de pompe Grundfos. Il faut d'abord sélectionner, dans le premier menu, la pompe dont le débit nominal en  $\text{m}^3/\text{h}$  s'approche le plus du débit du point de fonctionnement. Une pompe **SQ1** a un débit nominal d' $1 \text{ m}^3/\text{h}$ , une pompe **SQ2** de  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  etc. Lors de la sélection, trois courbes apparaissent sur le graphique. Il s'agit des pompes avec le même débit nominal mais différentes hauteurs manométriques : par exemple, la pompe SQ1 110 donne un débit nominal de  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  avec une hauteur de pompage de 110 m. Le second menu déroulant permet de choisir une des trois courbes qui apparait alors en continu alors que les autres courbes apparaissent en pointillé. En plus des courbes caractéristiques, les courbes de rendement des pompes enregistrées apparaissent sur le graphique du dessous



Aperçu du programme 4-2: Courbe caractéristique et rendement de la pompe

- (3) Sélectionner l'option « entrer les points de la courbe manuellement ». Il faut alors donner un minimum de trois points correspondant à la courbe de la pompe en les ordonnant par débit croissant. Une courbe quadratique est alors interpolée à partir des points donnés, et apparait sur le graphique.



**POMPE**

option 1:  Entrer les coefficients de l'équation  
 $H[m]=A+B.Q[m^3/h]+C.Q[m^3/h]^2$

A	120
B	0
C	-0,2

option 2:  Choisir une pompe enregistrée

Grundfos-SQ1
Grundfos-SQ2
Grundfos-SQ3
Grundfos-SQ5
Grundfos-SQ7

grundfos SQ5-70
grundfos SQ5-50
grundfos SQ5-15

option 3:  Entrer les points de la courbe

Débit en m <sup>3</sup> /h	Hauteur en m
1	50
2,4	40
3,2	30
4	20

Aperçu du programme 4-3: Entrée de la courbe de la pompe

#### 4.3.2. Exemple détaillé : N'Diokouti

Des Cadre 4-5: Données de la pompe pour la zone Ouest et Cadre 4-6: Données de la pompe pour la zone Est, on retient que la pression nécessaire dans les deux cas est de 20 mH<sub>2</sub>O, et le débit demandé est de 6,12 m<sup>3</sup>/h dans le cas de la zone ouest et de 5,1 dans le cas de la zone est.

Étant donné que les durées d'arrosage ne sont pas excessives, elles permettent d'arroser une zone le matin et l'autre zone l'après midi. Le débit que doit apporter la pompe doit être supérieur au débit maximum des zones prises individuellement, mais pas à la somme des deux. Dans le cas présent, le débit maximum est de 6,12 m<sup>3</sup>/h et la pression de 20 m.

On choisit une pompe enregistrée. Le débit à fournir est entre 5 m<sup>3</sup>/h et 7 m<sup>3</sup>/h, il faut donc choisir une pompe Grundfos SQ5 ou Grundfos SQ7. On choisit la pompe Grundfos SQ7, il faut maintenant choisir le modèle. La Grundfos SQ7 -15 ne fournit pas une hauteur manométrique suffisante, elle ne peut pas être utilisée. Les deux autres modèles, Grundfos SQ7-30 et Grundfos SQ7 -40 peuvent être utilisés. Avec ces valeurs, la pompe travaille dans la zone de rendement plus élevé (supérieur à 60%).

## 4.4. Feuille 7. EPANET

### 4.4.1. Utilisation de EPANET

Développé par l'US Environmental Protection Agency et traduit sous la direction de la Générale des Eaux, EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression. Un réseau est un ensemble de tuyaux, noeuds (jonctions de tuyaux), pompes, vannes, bâches et réservoirs. EPANET calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque noeud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes. Le logiciel est également capable de calculer les temps de séjour et de suivre l'origine de l'eau ...

EPANET n'est pas un programme dédié à la modélisation de système d'arrosage. Cependant, si on assimile un système d'arrosage à un réseau hydraulique dont on cherche à connaître le fonctionnement, EPANET est un outil utile pour simuler le comportement de ce réseau et détecter les problèmes possibles.

Le modèle créé pour être utilisé sous EPANET se compose d'une pompe alimentée à partir d'un aquifère (ou réservoir ouvert) qui peut alimenter soit un réservoir, soit le réseau d'irrigation. Le réseau se compose de la canalisation principale et de ses dériviatives qui alimentent chacune des sous-unités. Du fait du grand nombre de goutteurs et canalisations latérales dans un système d'irrigation, il n'est pas viable de modéliser en détail chacun et chacune d'entre eux (même si le programme le permet). Il est au contraire beaucoup plus intéressant de modéliser chaque sous-unité dans son ensemble. Pour cela, on utilise une valve de contrôle dont le comportement hydraulique reproduit celui la sous-unité. Cette valve débouche sur un réservoir qui simule la libération de l'eau à pression atmosphérique (Voir Illustration 4-9: Modèle crée sous EPANET).

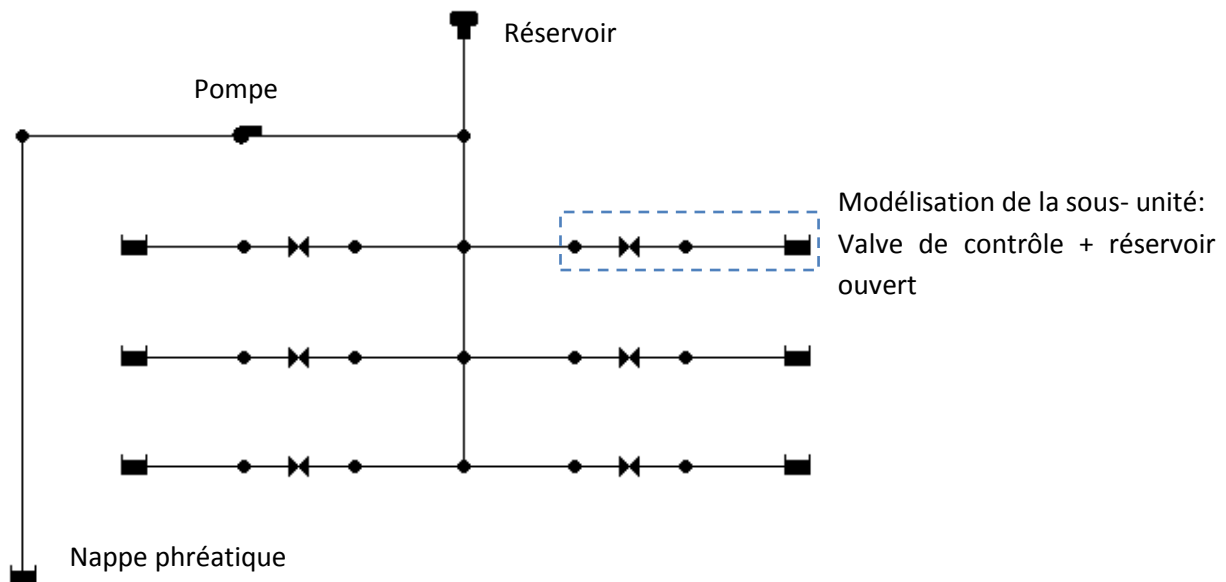


Illustration 4-9: Modèle crée sous EPANET

Les parties prises en compte dans la modélisation EPANET sont :

- Le nombre de sous-unités et leur disposition (configuration 1 ou 2)

- La courbe caractéristique de chaque sous-unité, qui est entrée dans EPANET sous la forme de la courbe caractéristique de la valve qui modélise le comportement hydraulique de chaque sous-unité.
- La courbe de la pompe qui a été déterminée dans la feuille « pompe »
- La profondeur de la nappe phréatique
- Le diamètre des tuyaux principaux, dimensionnés dans la feuille « réseau »
- Les dimensions du réservoir introduites dans la feuille « réseau »
- Les côtes de toutes les jonctions du réseau.

Toutes ces données sont prises en compte de façon automatique à partir des feuilles antérieures (voir Illustration 3-2: Interaction entre les différentes feuilles de calculs)

#### 4.4.2. Entrée des données dans la feuille de calcul

Cette feuille sert à exporter le modèle créé à EPANET. On crée un fichier texte qui contient les données du réseau et peut être lu comme un fichier d'entrée de EPANET.



EPANET utilise des points comme séparateurs décimaux. Pour que les fichiers exportés d'Excel soient lisibles dans EPANET il faut configurer dans Excel le point comme séparateur décimal.

Pour créer le fichier qui peut se lire dans EPANET :

- Configurer Excel pour avoir un point comme séparateur décimal
- Dans Excel, dans la feuille EPANET, tout sélectionner et copier.
- Créer dans un dossier un nouveau fichier de texte (**.txt**) avec le nom souhaité et l'ouvrir.
- Coller les données de la feuille Excel dans le fichier texte et l'enregistrer.
- Ouvrir EPANET, ouvrir un nouveau fichier, spécifier « tous les fichiers » et pas seulement les **.inp** et sélectionner le fichier de texte. Le modèle du système d'irrigation apparaît et la simulation peut être effectuée.
- 

#### 4.4.3. Exemple détaillé : N'Diokouti

On va créer un modèle EPANET pour la zone Ouest de la parcelle. Les données d'entrée sont celles spécifiées dans les Cadre 4-2: Données d'entrée zone ouest à Cadre 4-5: Données de la pompe pour la zone Ouest. La pompe choisie est celle détaillée dans la partie 4.3.2 Exemple détaillé : N'Diokouti.

Le schéma hydraulique qui apparaît dans EPANET est le suivant :

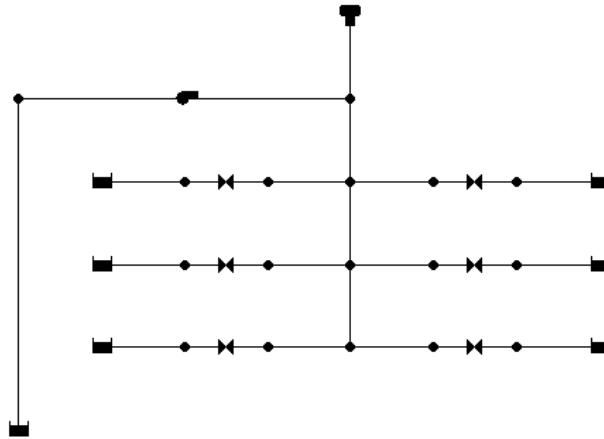


Illustration 4-10: Schéma hydraulique de la zone Ouest

Les six valves de contrôle correspondent aux six sous-unités. La courbe caractéristique de chaque valve, qui permet de simuler le comportement hydraulique des sous unités, est enregistrée et peut être visualisée :

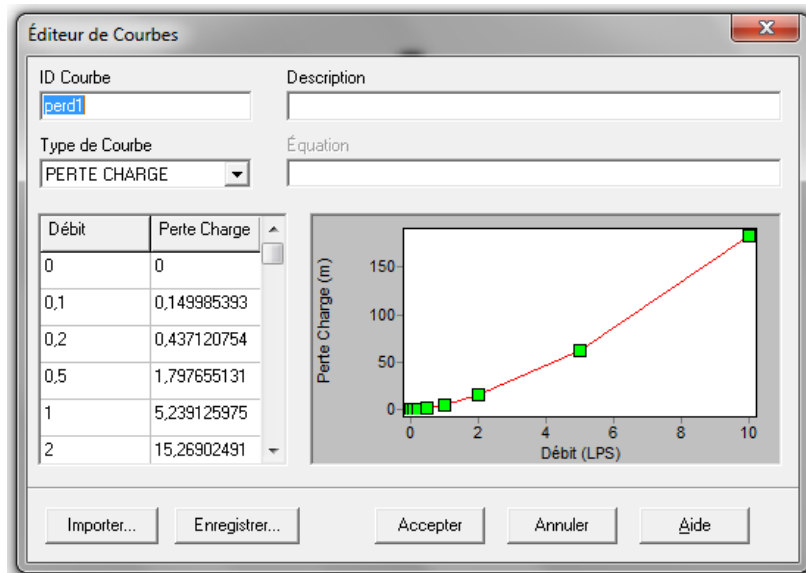


Illustration 4-11: Pertes de charges des valves de modélisation des sous unités

La courbe de la pompe enregistrée dans EPANET correspond à celle définie dans l'Excel :

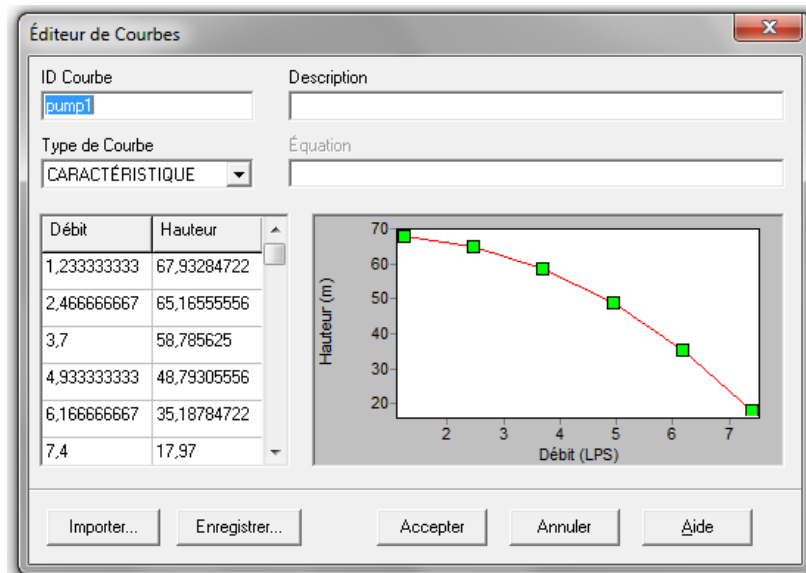


Illustration 4-12: Courbe Caractéristique de la pompe sous EPANET

Pour observer le fonctionnement du circuit, on considère que le système d'arrosage est alimenté par le réservoir en hauteur et non pas directement par la pompe. Pour la simulation, la pompe se met en état « arrêt » et le tuyau qui alimente le réservoir en état ouvert.

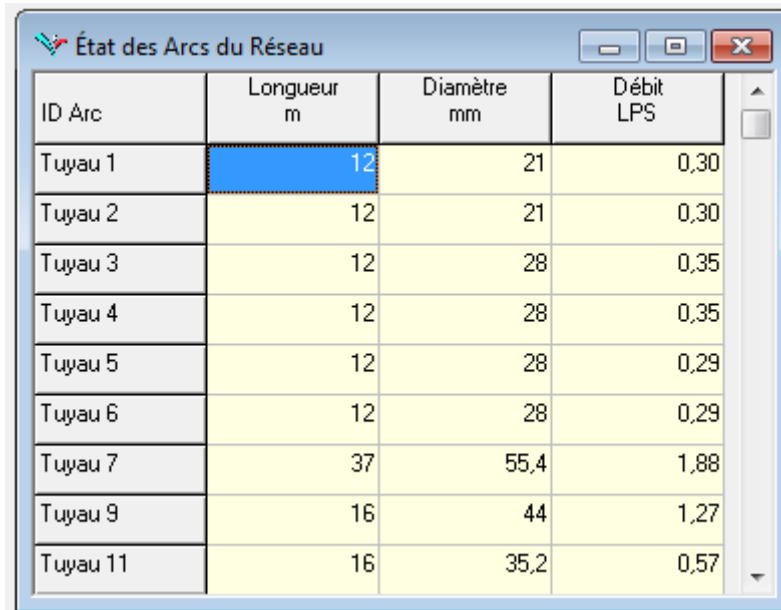
Une fois la simulation exécutée, les résultats sont les suivants :

La pression à l'entrée des sous unités varie de 0,83 à 1,12 m. Pour les sous unités 5 et 6, la valeur est légèrement inférieure à la pression prévue (0,85 m) mais n'empêche pas le correct fonctionnement du système.

ID Noeud	Altitude m	Pression m
Noeud 1	0	0,93
Noeud 2	0	0,93
Noeud 3	0	1,12
Noeud 4	0	1,12
Noeud 5	0	0,83
Noeud 6	0	0,83

Illustration 4-13: Résultats de la simulation concernant les noeuds

Les débits dans les sous unités vont de 0,29 l/s (1,04 m<sup>3</sup>/h) à 0,35 l/s (1,26 m<sup>3</sup>/h). Le débit prévu était de 1,02 m<sup>3</sup>/h, le réseau permet donc d'assurer les débits nécessaires. On peut également vérifier que les longueurs et diamètres des tuyaux correspondent à ceux définis antérieurement :



ID Arc	Longueur m	Diamètre mm	Débit LPS
Tuyau 1	12	21	0,30
Tuyau 2	12	21	0,30
Tuyau 3	12	28	0,35
Tuyau 4	12	28	0,35
Tuyau 5	12	28	0,29
Tuyau 6	12	28	0,29
Tuyau 7	37	55,4	1,88
Tuyau 9	16	44	1,27
Tuyau 11	16	35,2	0,57

Illustration 4-14: Résultats de la simulation concernant les tuyaux

La simulation permet de détecter que les sous unités 3 et 4 vont recevoir un débit plus important que les autres sous unités alors que le calcul analytique ne permettait pas de le prévoir. De cette façon, peut adopter des mesures correctives pour éviter de trop arroser ces sous unités, par exemple en ajoutant une valve pour couper l'alimentation de ces deux sous unités indépendamment des quatre autres, une fois que la quantité d'eau apportée est suffisante. D'où l'intérêt de réaliser une simulation du réseau par EPANET pour analyser plus en détail son comportement.

## 5. Information complémentaire

### 5.1. Conversion des différentes unités:

#### - *Pression*

Il existe différentes unités de pression, dont l'utilisation varie selon les disciplines. L'unité correspondant au système international est le pascal Pa, mais elle est peu employée en tant que telle. D'autres unités employées dans ce document sont :

Le bar : 1 bar=100 000 Pa

L'atmosphère standard : 1 atm=101 325 Pa = 1,01 325 bar

Le centimètre d'eau (cmH<sub>2</sub>O) ou le mètre d'eau (mH<sub>2</sub>O): 1 cmH<sub>2</sub>O=98,0638 Pa.

1 mH<sub>2</sub>O=9806,38 Pa = 0,09806 bar ≈ 0,1 bar

#### - *Besoins hydriques*

1 mm/jour = 1 l/m<sup>2</sup>.jour

1 m<sup>3</sup>/ha.jour= 1000 l/10 000m<sup>2</sup>.jour = 0,1 l/m<sup>2</sup>.jour

### 5.2. Texture du sol :

La texture du sol peut être déterminée selon les proportions de sable, limon et argile qui le compose. Les différentes classes de texture sont représentées sur le schéma suivant :

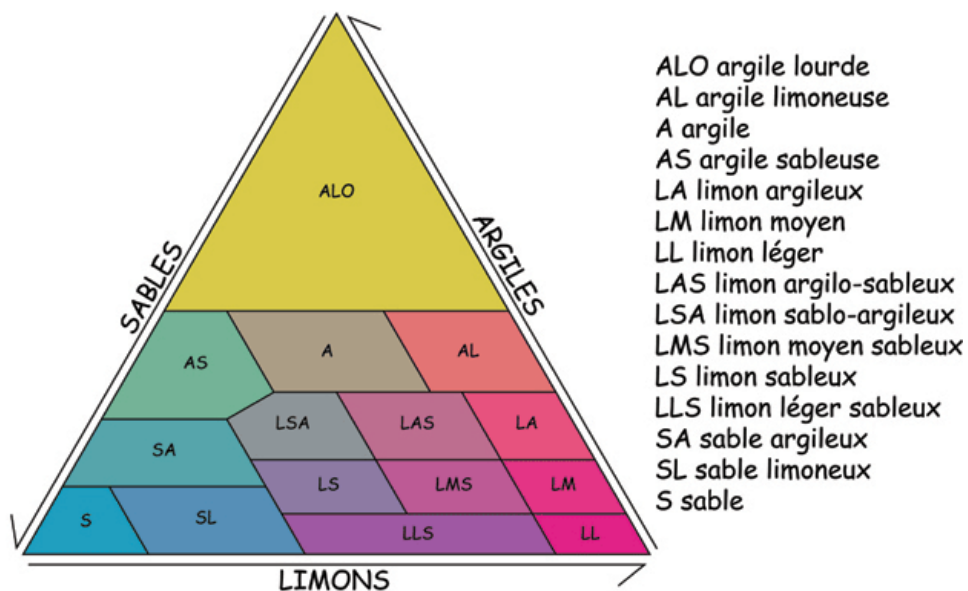


Illustration 5-1: Textures du sol

### 5.3. Cadres avec données de la FAO

Le document de la FAO « Estudio FAO riego y drenaje nº 56'' contient une série de cadres qui sont utiles pour obtenir les valeurs caractéristiques des cultures : Coefficient d'évapotranspiration, profondeur des racines, disponibilité de l'eau dans le sol et conductivité électrique du sol à partir de laquelle la diminution de la production de la plante est de 100%. Ce document est disponible en Anglais et en Espagnol. Les cadres qui suivent sont une illustration des informations que l'on peut trouver dans ce document (version espagnole).

#### Valeur du coefficient de culture $K_c$ :

CUADRO 12

Valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo,  $K_c$  y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos ( $HR_{min} \approx 45\%$ ,  $u_2 \approx 2 \text{ m s}^{-1}$ ) para usar en la fórmula de la FAO Penman-Monteith ET<sub>c</sub>.

Cultivo	$K_{c,ini}^1$	$K_{c,med}$	$K_{c,fin}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
<b>a. Hortalizas Pequeñas</b>	<b>0,7</b>	<b>1,05</b>	<b>0,95</b>	
Brécol (Brócoli)		1,05	0,95	0,3
Col de Bruselas		1,05	0,95	0,4
Repollo		1,05	0,95	0,4
Zanahoria		1,05	0,95	0,3
Coliflor		1,05	0,95	0,4
Apio (Céleri)		1,05	1,00	0,6
Ajo		1,00	0,70	0,3
Lechuga		1,00	0,95	0,3
Cebolla		1,05	0,75	0,4
– seca		1,00	1,00	0,3
– semilla		1,05	0,80	0,5
Espinaca		1,00	0,95	0,3
Rábano		0,90	0,85	0,3
<b>b. Hortalizas– Familia de la Solanáceas</b>	<b>0,6</b>	<b>1,15</b>	<b>0,80</b>	
Berenjena		1,05	0,90	0,8
Pimiento Dulce (campana)		1,05 <sup>2</sup>	0,90	0,7
Tomate		1,15 <sup>2</sup>	0,70–0,90	0,6
<b>c. Hortalizas– Familia de las Cucurbitáceas</b>	<b>0,5</b>	<b>1,00</b>	<b>0,80</b>	
Melón	0,5	0,85	0,60	0,3
Pepino		1,00 <sup>2</sup>	0,75	0,3
– Cosechado Fresco	0,6	1,00	0,90	0,3
– Cosechado a Máquina	0,5	1,00	0,90	0,3
Calabaza de Invierno		1,00	0,80	0,4
Calabacín (zucchini)		0,95	0,75	0,3
Melón dulce		1,05	0,75	0,4
Sandía	0,4	1,00	0,75	0,4

Cadre 5-1: Valeurs de  $K_c$  (source: FAO)

**Note :** dans le document original, le cadre continue sur plusieurs pages.



**Valeur de la profondeur des racines et de la disponibilité de l'eau dans le sol :**

CUADRO 22

Rangos de profundidad máxima efectiva de las raíces (Z) y fracción de agotamiento de la humedad en el suelo (p) para condiciones sin estrés hídrico, para cultivos comunes

Cultivo	Profundidad radicular máxima <sup>1</sup> (m)	Fracción de agotamiento <sup>2</sup> (para ET = 5 mm día <sup>-1</sup> ) p
<b>a. Hortalizas Pequeñas</b>		
Brócoli	0,4-0,6	0,45
Col de Bruselas	0,4-0,6	0,45
Repollo	0,5-0,8	0,45
Zanahorias	0,5-1,0	0,35
Coliflor	0,4-0,7	0,45
Apio (Céleri)	0,3-0,5	0,20
Ajo	0,3-0,5	0,30
Lechuga	0,3-0,5	0,30
Cebolla	– seca	0,3-0,6
	– verde	0,3-0,6
	– semilla	0,3-0,6
Espinaca	0,3-0,5	0,20
Rábano	0,3-0,5	0,30
<b>b. Hortalizas – Familia de la Solanáceas</b>		
Berenjena	0,7-1,2	0,45
Pimiento Dulce (campana)	0,5-1,0	0,30
Tomate	0,7-1,5	0,40
<b>c. Hortalizas – Familia de las Cucurbitáceas</b>		
Melón	0,9-1,5	0,45
Pepino	– cosechado fresco	0,7-1,2
	– cosechado a máquina	0,7-1,2
Calabaza de Invierno	1,0-1,5	0,35
Calabacín (zucchini)	0,6-1,0	0,50
Melón dulce	0,8-1,5	0,40
Sandía	0,8-1,5	0,40

Cadre 5-2: Valeurs de profondeur de racine et disponibilité de l'eau dans le sol (source FAO)

**Note :** dans le document original, le cadre continue sur plusieurs pages.

**Valeurs de la conductivité électrique du sol à partir de laquelle la diminution de la production de la plante est de 100%.**

Ici, la valeur donnée ne correspond pas directement à la valeur recherchée. Les valeurs de la première colonne correspondent à la conductivité électrique seuil, à partir de laquelle il y a une diminution de productivité et la deuxième colonne correspond à la pente de réduction de la productivité en pourcentage pour une augmentation de 1dS.

Pour obtenir la valeur de la conductivité électrique du sol à partir de laquelle la diminution de la production de la plante est de 100%, il faut appliquer l'équation suivante :

$$CE_{e,100\%} = CE_{e,seuil} + \frac{100}{b}$$

Équation 5-1. Conductivité électrique du sol avec diminution de la production est de 100%.

**CUADRO 23**

Tolerancia a las sales de cultivos agrícolas comunes, expresada como la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo correspondiente al umbral donde la productividad del cultivo se reduce por primera vez por debajo de la productividad potencial total ( $CE_{e, umbral}$ ), y expresada como la pendiente (b) de reducción en la productividad cuando la salinidad aumenta por encima del  $CE_{e, umbral}$ .

Cultivo <sup>1</sup>	$CE_{e, umbral}$ <sup>2</sup> (dS m <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>	b <sup>4</sup> (% / dS m <sup>-1</sup> )	Clase <sup>5</sup>
<b>a. Hortalizas pequeñas</b>			
Brócoli	2,8	9,2	MS
Col de Bruselas	1,8	9,7	MS
Repollo	1,0-1,8	9,8-14,0	MS
Zanahorias	1,0	14,0	S
Coliflor	1,8	6,2	MS
Apio (Céleri)	1,8-2,5	6,2-13,0	MS
Lechuga	1,3-1,7	12,0	MS
Cebolla	1,2	16,0	S
Espinaca	2,0-3,2	7,7-16,0	MS
Rábanos	1,2-2,0	7,6-13,0	MS
<b>b. Hortalizas – Familia de la Solanáceas</b>			
Berenjena	-	-	MS
Pimientos	1,5-1,7	12,0-14,0	MS
Tomate	0,9-2,5	9,0	MS
<b>c. Hortalizas – Familia de las Cucurbitáceas</b>			
Pepino	1,1-2,5	7,0-13,0	MS
Melones	-	-	MS
Calabaza de Invierno	1,2	13,0	MS
Calabacín (zucchini)	4,7	10,0	MT
Calabaza	3,2	16,0	MS
Sandía	-	-	MS

Cadre 5-3: Valeurs de la conductivité électrique du sol à partir de laquelle la diminution de la production de la plante est de 100%.

**Note :** dans le document original, le cadre continue sur plusieurs pages.

## 6. Bibliographie

- [1] ARVIZA VALVERDE J., *Riego localizado*, Universidad politécnica de Valencia, 1996
- [2] FUENTES YAGÜE J. L., *Technicas de riego*, Madrid : Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación , Ediciones Mundi-Prensa, cop. 2003
- [3] MAROTO BORREGO J.V, *Horticultura herbácea especial*, Madrid [etc.] : Mundi-Prensa, 2002
- [4] FAURES J. M., SANTINI G. pour la FAO :*Eau et pauvreté rurale.[...]*, Roma, 2008
- [5] Estudio FAO riego y drenaje nº 56. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.*  
<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>
- [6] Document ACF-E, *Promotion de l'activité maraichère au profit de coopératives de femmes dans la région du Gorgol*, mars 2008
- [7] Site web de la FAO des fournisseurs/fabriquants de matériel pour l'irrigation :  
[http://www.fao.org/landandwater/ies/ies\\_supplier\\_es.asp](http://www.fao.org/landandwater/ies/ies_supplier_es.asp)

### **Programmes utilisés:**

- CLIMWAT: [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_climwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html)
- CROPWAT: [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html)
- EPANET: <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html>

**LOW  
COST**

**books**

